

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра инженерной психологии и эргономики

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В трех частях

Часть 3

ОХРАНА ТРУДА

*Рекомендовано УМО по образованию
в области информатики и радиоэлектроники
в качестве учебно-методического пособия
для специальностей I ступени высшего образования*

Минск БГУИР 2022

УДК 502.12:621.039.58(075.8)

ББК 20.1я73

Б40

Авторы:

И. А. Телеш, П. В. Камлач, Н. В. Цявловская,

М. А. Бобровничая, В. И. Камлач

Рецензенты:

кафедра географии и методики преподавания географии
учреждения образования «Белорусский государственный педагогический
университет имени Максима Танка»
(протокол №6 от 21.01.2021);

заведующий кафедрой управления охраной труда
учреждения образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет»

кандидат технических наук, доцент В. Г. Андруш

Безопасность жизнедеятельности человека. В 3 ч. Ч. 3 : Охрана труда :
Б40 учеб.-метод. пособие / И. А. Телеш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022. – 162 с. : ил.
ISBN 978-985-543-628-8 (ч. 3).

Включает лабораторные работы, тематика которых посвящена оценке безопасности жизнедеятельности человека в условиях производственной деятельности. Содержание лабораторных работ посвящено гигиенической оценке микроклимата производственных помещений, нормированию зрительных условий труда в производственной деятельности, изучению основ пожарной безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях, в том числе и радиационной безопасности. Каждая лабораторная работа включает теоретическое изложение материала, задания для выполнения практической и лабораторно-экспериментальной частей, задания для самостоятельной работы, вопросы для самоконтроля.

Часть 1-я издана в БГУИР в 2017 г.

Часть 2-я издана в БГУИР в 2017 г.

УДК 502.12:621.039.58(075.8)

ББК 20.1я73

ISBN 978-985-543-628-8 (ч. 3)

ISBN 978-985-543-197-9

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа №1. Производственная санитария. Исследование параметров микроклимата в производственных помещениях.....	5
Лабораторная работа №2. Производственное освещение. Гигиеническая оценка и нормирование зрительных условий труда.....	32
Лабораторная работа №3. Исследование опасности электропоражения в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью.....	58
Лабораторная работа №4. Средства пожарной сигнализации и пожаротушения.....	79
Лабораторная работа №5. Контроль радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях.....	105
Лабораторная работа №6. Оценка радиоактивного загрязнения продуктов питания и строительных материалов.....	120
Лабораторная работа №7. Определение концентрации сильнодействующих ядовитых и отравляющих веществ. Оценка химической обстановки в чрезвычайных ситуациях.....	135
Приложение 1.....	150
Приложение 2.....	158
Приложение 3.....	160
Приложение 4.....	161

Введение

В современном обществе каждому человеку необходимо быть подготовленным в вопросах обеспечения безопасности жизнедеятельности, чтобы умело и грамотно предупреждать угрозу воздействия любых опасностей в обычной жизни и противостоять последствиям их проявления в чрезвычайных ситуациях.

В связи с этим особую значимость и приоритетность приобретают знания в области естественнонаучных дисциплин, одной из которых выступает «Безопасность жизнедеятельности человека». Изучение дисциплины направлено на приобретение знаний, формирующих способность предупреждать воздействие вредных и опасных факторов производственной среды и среды обитания в целом и минимизировать их последствия для сохранения жизни и здоровья, а также обеспечения нормальных условий жизнедеятельности.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с учебной программой учреждения высшего образования по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека». Программа курса предусматривает наряду с лекционной частью и выполнением заданий для практических занятий проведение лабораторных работ.

Данное учебно-методическое пособие включает лабораторные работы, тематика которых посвящена оценке безопасности жизнедеятельности человека в условиях производственной деятельности. Основная цель учебно-методического пособия – оценить степень воздействия на человека негативных факторов производственной деятельности. Содержание лабораторных работ посвящено гигиенической оценке микроклимата производственных помещений, нормированию зрительных условий труда в производственной деятельности, изучению основ пожарной безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях, в том числе и радиационной безопасности, уделяется внимание анализу рисков трудовой деятельности.

Каждая лабораторная работа состоит из структурных частей. В первой части приводятся сведения теоретического характера, ориентированные на изучение и закрепление знаний о базовых понятиях по основным разделам охраны труда и обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях. Вторая и третья части предусматривают выполнение заданий практического характера и собственно выполнение экспериментально-лабораторной части работы. Также предусмотрены задания для самостоятельной работы и вопросы для самоконтроля.

Освоение материала по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека» в рамках данного учебно-методического пособия будет способствовать повышению фундаментальной подготовки специалистов, способных в ходе профессиональной деятельности осуществлять интеллектуальное, образовательное и инженерное обеспечение в оценке безопасности жизнедеятельности человека в области охраны труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Лабораторная работа №1

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Цель работы: получить навыки по определению метеорологических характеристик производственных помещений и проверить их соответствие с установленными нормативными требованиями, приобрести практические навыки по гигиенической оценке микроклимата рабочей зоны помещений.

Приборы и оборудование:

1. Программное обеспечение «Лабораторная работа «Исследование микроклимата в производственных помещениях».
2. Прибор для гигиенической оценки микроклимата производственных помещений – гигрометр психрометрический ВИТ 1.

Теоретический материал

Одним из основных условий эффективной производственной деятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий (микроклимата) в помещениях. Производственные и офисные помещения представляют собой замкнутые пространства в специально предназначенных сооружениях, в которых постоянно (по сменам) или периодически в течение рабочего дня осуществляется трудовая деятельность людей.

Метеорологические условия (микроклимат) помещений представляют собой условия внутренней среды, определяемые действующими на организм человека сочетаниями температуры ($^{\circ}\text{C}$), относительной влажности (%), скорости движения воздуха (м/с), а также интенсивностью теплового излучения от нагретых поверхностей ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях устанавливают санитарные нормы и правила «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» и гигиенический норматив «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений» [1].

Для производственных условий в большинстве случаев характерно суммарное воздействие метеорологических факторов, которые влияют на физиологическую функцию организма, его терморегуляцию. Терморегуляция представляет собой совокупность физиологических и химических процессов, направленных на поддержание постоянного температурного баланса тела человека в пределах ($36,1\text{--}37,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). При изменении внешних условий в организме происходит процесс *химической терморегуляции* путем усиления или ослабления интенсивности окислительных процессов, а также путем отдачи тепла в окружающую среду излучением, конвекцией и испарением пота с поверхности кожи имеет место *физическая терморегуляция*.

Выработка теплоты происходит в результате энергетических превращений в клетках, а также связана с непрерывно совершающимся биохимическим синтезом белков и др. Тепло вырабатывается всем организмом, но в наибольшей степени в мышцах и печени. В процессе работы в организме происходят различные биохимические процессы, связанные с деятельностью мышечного аппарата и нервной системы.

Для нормального протекания физиологических процессов в организме человека выделяемая его телом теплота должна отводиться в окружающую среду для сохранения теплового баланса организма человека. Комфортной является такая среда, охлаждающая способность которой соответствует отводимой теплоте человеческого тела. В комфортных условиях у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений – переохлаждения или перегрева. Теплообмен организма человека с окружающей средой зависит от температуры воздуха и скорости его движения. Тепло, непрерывно выделяемое в результате обменных процессов в организме человека, зависит от характера выполняемой работы. В состоянии покоя из организма человека выделяется в сутки примерно 5800–7100 кДж, при легкой работе – 9600–11 700 кДж, при работе средней тяжести – 13 800–15 900 кДж, при тяжелой работе – свыше 15 900 кДж тепла. Таким образом, терморегуляция организма является одним из наиболее важных физиологических механизмов, с помощью которых поддерживается относительное динамическое постоянство функций организма при различных метеорологических условиях и разной тяжести выполняемой работы.

Также для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям организма, в помещении устанавливаются оптимальные и допустимые параметры микроклимата, которые нормируются для рабочей зоны производственных помещений. Под *рабочей зоной* понимается пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих [1].

Под *допустимыми значениями параметров микроклимата* (табл. 1.1) понимаются минимальные или максимальные значения микроклиматических показателей, установленных по критериям теплового состояния человека на период 8-часовой рабочей смены и не вызывающих повреждений или нарушений состояния здоровья, но способных приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности к концу смены.

Оптимальными значениями параметров микроклимата (табл. 1.2) являются установленные по критериям оптимального теплового состояния человека значения микроклиматических показателей, которые обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Таблица 1.1

Допустимые значения показателей микроклимата на рабочих местах
производственных и офисных помещений [1]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температуры воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температуры воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia	20,0–21,9	24,1–25,0	19,0–26,0	15–75	0,1	0,1
	Iб	19,0–20,9	23,1–24,0	18,0–25,0	15–75	0,1	0,2
	IIa	17,0–18,9	21,1–23,0	16,0–24,0	15–75	0,1	0,4
	IIб	15,0–16,9	19,1–22,0	14,0–23,0	15–75	0,2	0,3
	III	13,0–15,9	18,1–21,0	12,0–22,0	15–75	0,2	0,4
Теплый	Ia	21,0–22,9	25,1–28,0	20,0–29,0	15–75	0,1	0,2
	Iб	20,0–21,9	24,1–28,0	19,0–28,0	15–75	0,1	0,3
	IIa	18,0–19,9	22,1–27,0	17,0–28,0	15–75	0,1	0,4
	IIб	16,0–17,9	21,1–27,0	15,0–28,0	15–75	0,2	0,5
	III	15,0–16,9	20,1–26,0	14,0–27,0	15–75	0,2	0,5

Таблица 1.2

Оптимальные значения показателей микроклимата на рабочих местах
производственных и офисных помещений [1]

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

При нормировании микроклиматических условий учитывается теплый и холодный периоды года [1].

Теплым периодом года считается период, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше, *холодным периодом года* – со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Среднесуточная температура воздуха – средняя величина температуры наружного воздуха, измеренная в определенные часы суток через одинаковые интервалы времени.

Также при нормировании параметров микроклимата проводится разграничение работ по категориям, которое осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма: легкие физические работы (категория I – Ia и Ib), средней тяжести физические работы (категория II – IIa и IIб), тяжелые физические работы (категория III) в ккал/ч (Вт) [1].

I – *легкие физические работы*. Относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт).

К категории Ia относятся работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т. п.).

К категории Ib относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т. п.).

II – *средней тяжести физические работы*. Относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121–150 ккал/ч (140–174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (профессии в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т. п.).

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

К категории IIб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 201–250 ккал/ч (223–290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий).

III – *тяжелые физические работы*. Относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 250 ккал/ч (более 290 Вт), связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие значительных физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой на машиностроительных и металлургических предприятиях и т. п.).

При выборе показателей микроклимата кроме категорирования работ на основе интенсивности общих энергозатрат организма учитывается характеристика помещения по избыткам явной теплоты.

Явная теплота – это теплота, поступающая в помещение от нагретых материалов, отопительных приборов, оборудования, людей, естественного/искусственного освещения и других источников, воздействующая на температуру воздуха в этом помещении (табл. 1.3 и 1.4).

Таблица 1.3

Допустимые значения интенсивности теплового облучения поверхности тела человека в зависимости от величины облучаемой поверхности [1]

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

Таблица 1.4

Допустимые значения диапазона скорости движения воздуха в зависимости от категории работ, выполняемых при температуре воздуха на рабочих местах от 26–28 °С [1]

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

Для гигиенической оценки микроклимата применяется так называемое сочетанное действие температуры и относительной влажности воздуха, скорости движения воздуха, интенсивности теплового излучения в целях осуществления мероприятий по защите работников от возможного перегревания. При этом допускается использовать значения интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс) [1], выраженного показателем в градусах Цельсия, измерения и оценка которого аналогичны методам измерения и контроля температуры воздуха.

ТНС-индекс следует 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 – менее 1200 Вт/м².

Значения ТНС-индекса на рабочих местах для соответствующих категорий работ, с учетом времени воздействия, не должны выходить за пределы величин, приведенных в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Допустимые величины ТНС-индекса с учетом продолжительности
тепловой нагрузки среды в часах [1]

Категория работ по уровню энергоза- трат, Вт	Величины ТНС-индекса, °С, на период, в часах							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Ia (до 139)	22,7–24,5	24,9	25,3	25,8	26,6	27,2	28,2	29,5
Iб (140–174)	21,9–23,5	24,2	24,6	25,1	25,8	26,4	27,4	28,6
IIa (175–232)	21,2–22,6	23,1	23,5	24,0	24,6	25,2	26,2	27,4
IIб (233–290)	20,0–21,5	22,0	22,4	22,9	23,4	24,0	24,9	26,3
III (более 290)	18,8–20,4	20,9	21,3	21,7	22,2	22,7	23,6	25,0

Тепловое ощущение человека формируется главным образом под влиянием четырех факторов: температуры и влажности воздуха, скорости его перемещения (подвижности) и температуры ограждающих поверхностей помещения. Если человек не ощущает ни холода, ни перегрева, ни движения воздуха, метеорологическое состояние окружающей его воздушной среды считается комфортным в тепловом отношении. Иными словами, человек чувствует себя комфортно, когда от него отводится столько тепла, сколько вырабатывается организмом. То есть комфортность зависит от баланса между теплогенерацией и теплопотерями в окружающую среду.

Дискомфортный микроклимат может быть охлаждающим (гипотермия) и нагревающим (гипертермия). Гипертермия (перегрев) тела наступает в том случае, когда затрудняется отдача тепла, постоянно образующаяся в теле. Влажный, неподвижный воздух, непроницаемая для воздуха и пота одежда способствуют перегреванию тела, его температура нарастает вначале медленно, потом быстрее. Так как терморегуляция организма не безгранична, то при выделении пота организм теряет воду и соли, кровь густеет, затрудняется работа кровеносных систем. Может произойти обморок, судороги, тепловой удар.

Гипотермия (переохлаждение) наступает тогда, когда отдача тепла превышает его выделение: при пониженных температурах и большой скорости движения воздуха, увеличивающих теплоотдачу конвекцией, создается ощущение еще большего холода.

При очень резком или длительном охлаждении наблюдаются расстройство кровообращения, снижение иммунобиологических свойств крови, могут проявиться простудные заболевания и обморожение.

Для гигиенической оценки субъективных тепловых ощущений чаще используют 7-балльную шкалу. При этом субъективным ощущениям соответствует следующая оценка в баллах [2]: «очень холодно» – 1 балл, «холодно» – 2 балла, «прохладно» – 3 балла, «комфортно» – 4 балла, «тепло» – 5 баллов, «жарко» – 6 баллов, «очень жарко» – 7 баллов.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия параметров микроклимата должны быть проведены защитные мероприятия. Например, установлены системы местного кондиционирования воздуха, воздушного душирования;

оборудованы специальные кожухи – экраны у нагретых поверхностей (стационарные или передвижные); работники обеспечены спецодеждой, спецобувью и СИЗ (глаза, лицо – защитные очки, щитки, светофильтры; руки – перчатки); выделены помещения для отдыха, технологических перерывов, обогрева, охлаждения; регламентировано время работы во вредных условиях труда.

Методы измерения параметров метеорологических условий в помещениях и описание приборов. Температуру воздуха в помещениях измеряют с помощью термометров и гигрометров психрометрических, относительную влажность воздуха – психрометров и гигрометров, скорость перемещения воздуха – чашечных (от 0,5 до 20 м/с) и крыльчатых (от 0,5 до 10 м/с) анемометров, интенсивность теплового облучения от нагретых поверхностей и источников – актинометров, дистанционных пирометров, радиометров, контактных электротермометров. Измерение малых скоростей движения воздуха, особенно при наличии разнонаправленных воздушных потоков (с 0,1 м/с), производят термоанемометрами, до 0,5 м/с – с помощью цилиндрических и шаровых кататермометров.

Измерение температуры и относительной влажности воздуха гигрометром психрометрическим ВИТ-1. Температура воздуха в производственных помещениях зависит от количества тепла, поступающего в помещение от источников тепловыделения конвекционным путем, количества тепла, уходящего из помещения, и разбавления его приточным воздухом.

Влажность воздуха в помещениях не изменяется так резко и часто, как температура воздуха, поэтому достаточно измерять ее только в рабочей зоне на основных рабочих местах.

При нормировании и оценке влажности воздуха в производственных помещениях используется понятие относительной влажности.

Относительная влажность воздуха – это отношение абсолютной влажности к максимальной, выраженное в процентах.

Абсолютная влажность воздуха – упругость водяных паров (парциальное давление их) или весовое количество водяных паров, находящихся в 1 м³ воздуха, выраженное в граммах на метр в кубе.

Максимальная влажность воздуха – это влажность, при которой упругость или вес водяных паров полностью насыщают 1 м³ воздуха при данной температуре.

Для точного измерения температуры и относительной влажности воздуха в помещении используется гигрометр психрометрический ВИТ-1 (рис. 1.1).

На пластмассовом корпусе 1 закреплены два термометра – сухой 5 и увлажненный 7, температурная шкала 6, психрометрическая таблица 2 и стеклянный питатель, заполненный водой 3. Один из термометров остается сухим, капилляр другого термометра, увлажненного, находится в объеме термометрической жидкости (вода) и помещен в специальный трубчатый тканевый материал (фитиль) 4, который хорошо впитывает воду. Второй конец этого материала помещают на несколько сантиметров в открытый конец изогнутой стеклянной трубки (питатель), в которую налита обычная вода (предпочтительно дистиллированная).

Весь материал оказывается смоченным, и под воздействием циркуляции воздуха вода испаряется и охлаждает колбу капилляра. За счет этого показания сухого и увлажненного термометров отличаются. Это и является ключевым моментом для определения относительной влажности воздуха.

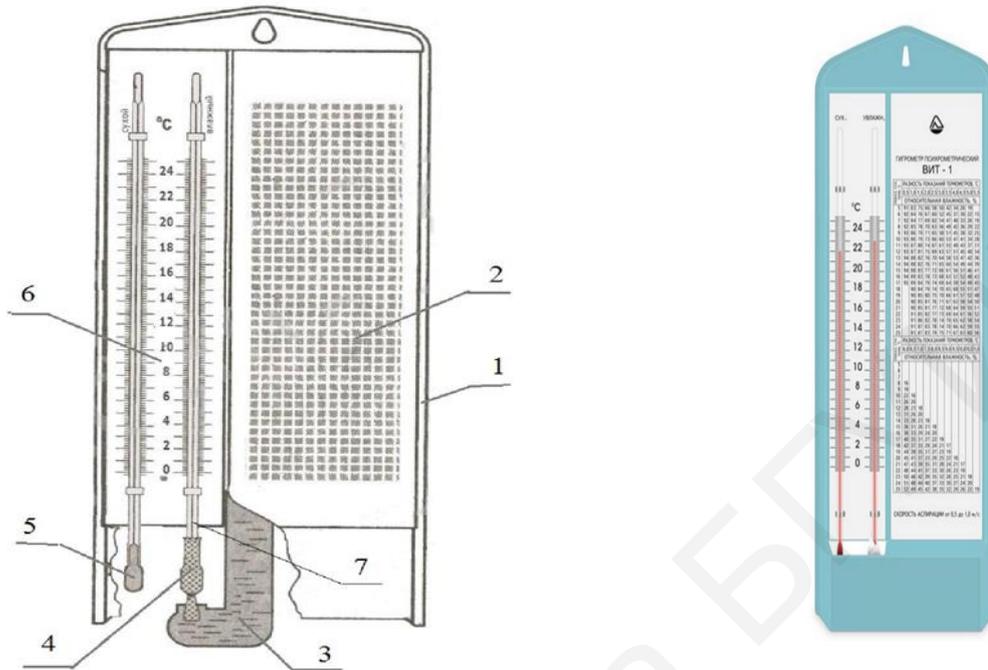


Рис. 1.1. Гигрометр психрометрический ВИТ-1 для измерения температуры и относительной влажности воздуха в помещении:
 1 – пластмассовый корпус прибора; 2 – психрометрическая таблица;
 3 – стеклянный питатель с водой; 4 – фитиль; 5 – сухой термометр;
 6 – температурная шкала прибора; 7 – увлажненный термометр

Принцип действия гигрометра психрометрического ВИТ-1 основан на следующем условии: чем меньше в окружающем воздухе водяных паров, тем интенсивнее испарение с ткани на «влажном» термометре и он сильнее охлаждается. В результате разница температур будет большей между показаниями двух термометров.

Используя гигрометр психрометрический ВИТ-1 определение температуры воздуха в помещении проводится по термометрам (сухому и увлажненному) с точностью до 0,2 °С.

Относительную влажность воздуха в помещении определяют по данным психрометрической таблицы (табл. 1.6). Значение относительной влажности воздуха соответствует точке пересечения текущей температуры сухого термометра и разницы температур между сухим и увлажненным термометром.

Таблица 1.6

Психрометрическая таблица для определения относительной влажности воздуха

Разность показаний сухого и увлажненного термометра, °С	Показания сухого термометра, °С																																							
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32																	
	Значения относительной влажности воздуха, %																																							
0,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100					
0,5	93	94	94	94	94	94	95	95	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96				
1,0	87	87	88	88	89	89	89	90	90	90	91	91	91	91	91	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92				
1,5	81	81	82	83	83	84	84	85	85	86	86	86	87	87	87	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88			
2,0	74	75	76	77	78	78	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84			
2,5	68	69	70	71	72	73	74	75	76	76	77	78	78	79	79	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80		
3,0	62	64	65	66	67	68	69	70	71	72	72	73	74	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76		
3,5	56	58	59	61	62	63	64	65	67	67	68	69	70	71	71	72	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73		
4,0	50	52	54	55	57	58	60	61	62	63	64	65	66	67	68	68	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69		
4,5	44	46	48	50	52	53	55	56	58	59	60	61	62	63	64	65	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	
5,0	39	41	43	45	47	49	50	52	53	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
5,5	33	35	38	40	42	44	46	47	49	51	52	53	54	56	57	58	59	60	61	62	63	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
6,0	27	30	33	35	37	39	41	43	45	46	48	49	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	
6,5	22	25	28	30	33	35	37	39	41	42	44	46	47	48	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
7,0	16	20	23	25	28	30	33	35	37	38	40	42	43	45	46	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
7,5	11	14	18	20	23	26	28	30	33	35	36	38	40	41	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	61	61	61	61	61	61	61	
8,0	6	9	13	16	19	21	24	26	29	31	33	35	36	38	40	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	61	61	61	61	
8,5	-	4	8	11	14	17	20	22	25	27	29	31	33	35	36	38	39	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	61	
9,0	-	-	3	7	10	13	16	18	21	23	26	28	30	31	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	
9,5	-	-	-	2	5	9	12	15	17	20	22	24	26	28	30	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	
10,0	-	-	-	-	2	5	8	11	13	16	19	21	23	25	27	29	30	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
10,5	-	-	-	-	-	4	7	10	13	15	17	20	22	24	26	28	29	31	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
11,0	-	-	-	-	-	-	3	6	9	12	14	17	19	21	23	25	26	28	29	31	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
11,5	-	-	-	-	-	-	-	3	6	8	11	13	16	18	20	22	24	25	26	28	29	31	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	8	10	13	15	17	19	21	23	24	26	27	29	30	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	7	10	12	14	16	18	20	22	24	25	27	29	30	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	7	9	12	14	16	18	20	21	23	25	27	29	30	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	30	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
14,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	6	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	30	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45	46
14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	6	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	30	32	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45
15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25	27	29	30	32	33	35	36	38	39	40	41	

Определение скорости движения воздуха чашечным (крыльчатый) анемометром. Чашечный и крыльчатый анемометры – приборы для измерения скорости движения воздушного потока (рис. 1.2 и 1.3).



Рис. 1.2. Чашечные анемометры:

a – анемометр электронный чашечный Skywatch Eole;

б – анемометр механический чашечный МС-13:

1 – вертушка; 2 – ось; 3 – циферблат; 4 – стрелка шкалы единиц;

5 – стрелка шкалы сотен; 6 – стрелка шкалы тысяч; 7 – винт

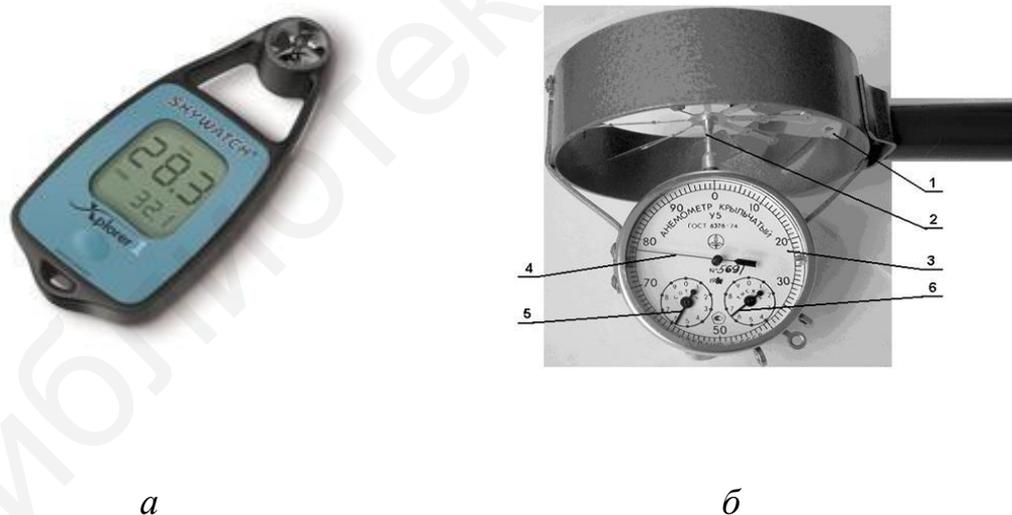


Рис. 1.3. Крыльчатые анемометры:

a – анемометр электронный крыльчатый Skywatch Xplorer;

б – анемометр механический крыльчатый АСО-3:

1 – вертушка; 2 – ось; 3 – циферблат; 4 – стрелка шкалы единиц;

5 – стрелка шкалы сотен; 6 – стрелка шкалы тысяч

Анемометр механический имеет три циферблата (см. рис. 1.2, б и 1.3, б). Центральная большая стрелка показывает единицы и десятки, стрелки двух малых циферблатов – сотни и тысячи делений. На маленьких циферблатах учитывают только целые деления.

Принцип действия анемометров основан на линейной зависимости скорости вращения рабочего органа (крыльчатки и крестовины с полушариями) от скорости движения воздуха. У чашечного анемометра на оси насажена вертушка-крестовина с полыми полусферами, у крыльчатого – вертушка мельничного типа из толстой алюминиевой фольги. У анемометров обоих типов частота вращения крыльчатки тем больше, чем больше скорость движения воздуха.

Принцип определения скорости движения воздуха по анемометру заключается в том, что поток воздуха вращает чашечную (крыльчатую турбину), обороты которой через систему зубчатых колес передаются счетному механизму с циферблатом и показательными стрелками. На основании скорости вращения по графикам анемометра (рис. 1.4 и 1.5) вычисляют скорость движения воздуха. Разница в показаниях до и после измерения, деленная на время наблюдения, показывает число делений в 1 с.

Пределы измерений: для чашечного анемометра – от 1 до 20 м/с, для крыльчатого – от 0,3 до 5 м/с.

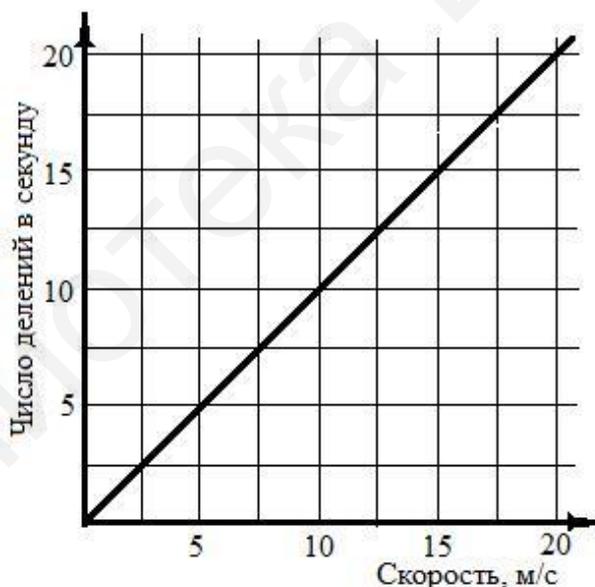


Рис. 1.4. График перевода показаний счетчика чашечного анемометра в скорость движения воздуха

На тарировочном графике анемометра на оси абсцисс делают отметку, соответствующую скорости вращения (об/с), продолжают условную линию до графика, опускают на ось координат и в точке пересечения с последней находят значение скорости движения воздуха (м/с) (рис. 1.6).

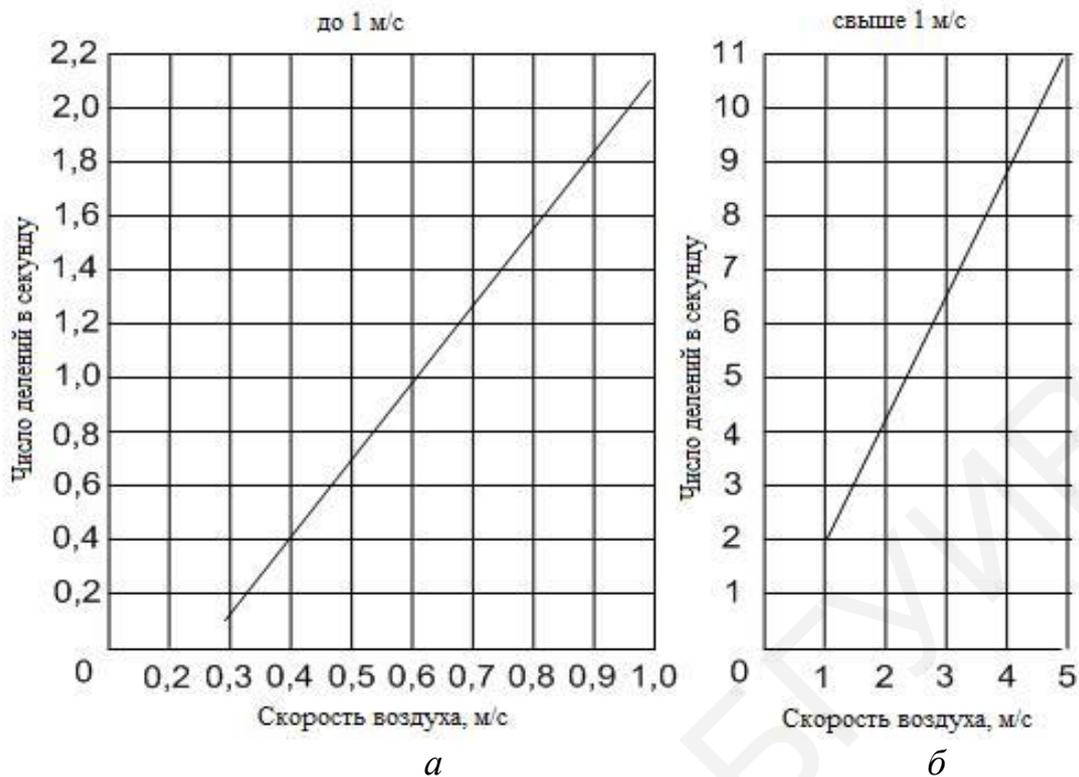


Рис. 1.5. График перевода показаний счетчика крыльчатого анемометра в скорость движения воздуха

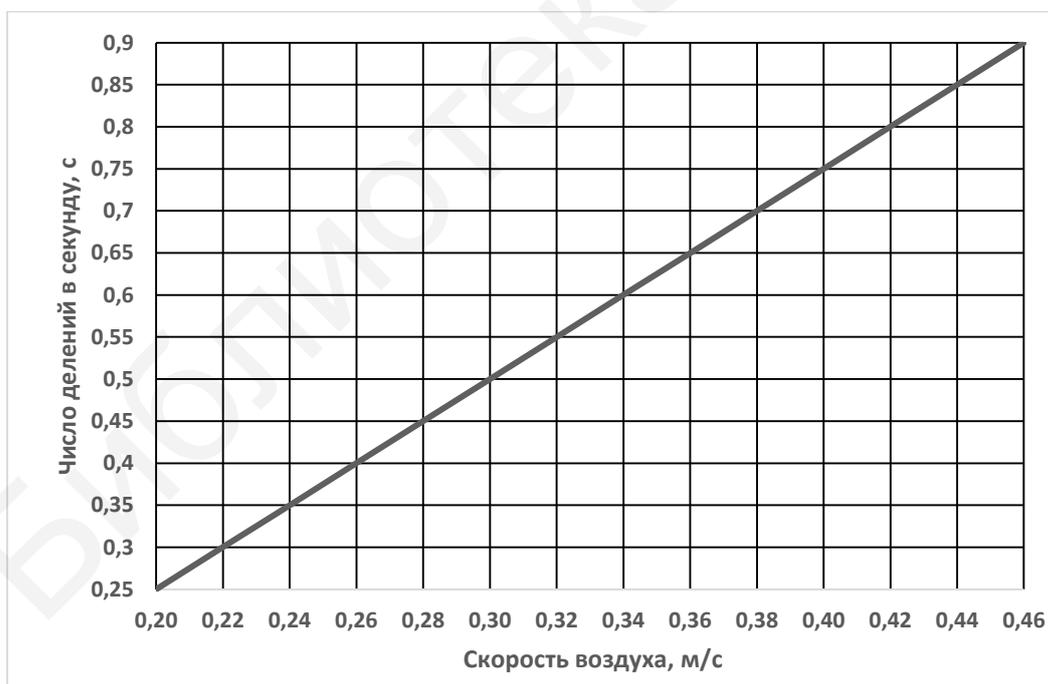


Рис. 1.6. График зависимости числа делений в секунду по шкале анемометра (дел/с) от скорости воздушного потока (м/с)

Определение скорости движения воздуха с помощью кататермометра. Скорость движения воздуха в интервале величин от 0,1 до 1,5 м/с можно определить с помощью кататермометра (рис. 1.7), который позволяет определять очень слабые потоки воздуха и представляет собой спиртовой термометр с цилиндрическим или шаровым резервуаром.

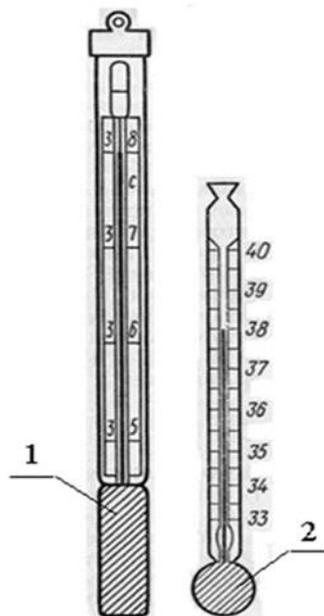


Рис. 1.7. Кататермометр:
1 – цилиндрический;
2 – шаровой

Кататермометр имеет внизу цилиндрический или шаровой сосуд для спирта. Капиллярная трубка прибора снабжена шкалой. Шкала цилиндрического кататермометра градуирована в пределах от 35 до 38 °С, шарового – от 33 до 40 °С. Верхний конец капиллярной трубки имеет овальное вздутие для выхода спирта при нагревании кататермометра.

На каждом приборе указывается так называемый фактор, дающий количество тепла в милликалориях, теряемого с 1 см² поверхности сосуда при его охлаждении. По величине падения столба спирта в единицу времени на кататермометре при его охлаждении судят о скорости движения воздуха.

Так, при работе с шаровым кататермометром первоначально определяют охлаждающую способность воздуха. Для этого спиртовой резервуар помещают в стакан с горячей водой (50–60 °С) до заполнения на 5 мм верхнего резервуара кататермометра спиртовым раствором. Затем прибор вытирают досуха. Секундомером засекают время, в течение которого столбик спирта снизится с 38 до 35 °С. При охлаждении резервуара прибор теряет определенное количество тепла. Количество тепла, теряемое с 1 см² поверхности резервуара кататермометра за время снижения столбика спирта с 38 до 35 °С, называется фактором прибора, который указывается на капилляре каждого кататермометра.

Измерение параметров микроклиматических условий в рабочей зоне помещений с использованием метеометра. Для измерений параметров микроклимата и аттестации рабочих мест на промышленных предприятиях применяется метеометр МЭС-200А (термоанемометр) представленный на рис. 1.8. Прибор предназначен для измерений атмосферного давления, температуры воздуха, скорости потока воздуха, относительной влажности, параметров тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) и концентрации газов вне помещений и внутри их.

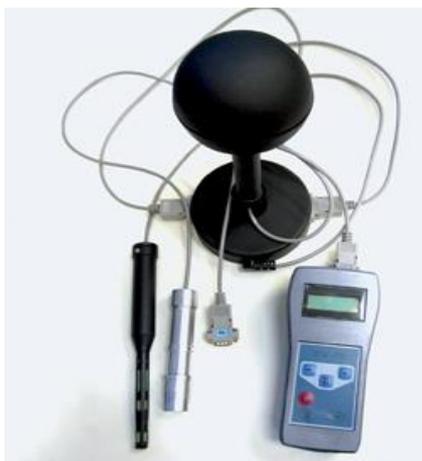


Рис. 1.8. Переносной метеометр МЭС-200А
(термоанемометр)

Метеометр МЭС-200А (термоанемометр) состоит из блока электроники и сменных измерительных щупов.

Датчиком скорости потока воздуха является небольшой терморезистор, который подогревается стабилизированным током до определенной температуры ($^{\circ}\text{C}$). Скорость потока воздуха влияет на изменения степени охлаждения нагретого терморезистора и на падение напряжения на нем, которое и является мерой скорости потока воздуха. *Датчиком температуры* является также небольшой терморезистор сопротивлением 1 кОм (при температуре 0°C) с нормирующим усилителем. *Датчиком влажности* является функциональный сенсор влажности с нормированным выходным напряжением от 0,8 до 4,2 В с высокой степенью линейности выходного напряжения от относительной влажности. *Интегральный показатель тепловой нагрузки среды* является эмпирическим показателем, характеризующим сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (скорости движения воздуха и теплового облучения, температуры, влажности). Тепловая нагрузка среды определяется на основе величин температуры смоченного термометра и температуры внутри зачерненного шара. *Блок электроники* используется, чтобы преобразовывать аналоговые сигналы в цифровые, математически обрабатывать результаты измерений и отображать их на двухстрочном ЖК-индикаторе.

Выполнение лабораторной работы

Ход работы:

1. Определить текущий период года по среднесуточной температуре наружного воздуха (табл. 1.1 и 1.2), данные занести в табл. 1.7.
2. Определить категорию тяжести работ, выполняемых в помещении, по интенсивности энергозатрат (табл. 1.1 и 1.2), данные занести в табл. 1.7.

3. Измерив температуру и относительную влажность воздуха в помещении с помощью гигрометра психрометрического ВИТ-1, необходимо определить температуру воздуха в помещении по сухому термометру, данные занести в табл. 1.7.

4. Вычислить относительную влажность воздуха по психрометрической табл. 1.6. Искомая относительная влажность воздуха будет на пересечении строк температуры по сухому термометру и разности температур по сухому и увлажненному термометру, данные занести в табл. 1.7.

5. Нормативные значения оптимальных и допустимых величин показателей микроклимата (температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха) по табл. 1.1 и 1.2 в соответствии с категорией тяжести работ по интенсивности энергозатрат занести в табл. 1.7.

6. Определить скорость движения воздуха, используя данные табл. 1.4 и график перевода показаний счетчика анемометра в скорость движения воздуха (см. рис. 1.5). На тарировочном графике (см. рис. 1.6) анемометра на оси абсцисс делают отметку, соответствующую скорости вращения (об/с), продолжают условную линию до графика, опускают на ось координат и в точке пересечения с последней находят значение скорости движения воздуха (м/с).

7. Используя полученные результаты из табл. 1.7, определить тепловые ощущения человека в помещении в соответствии с фактическими значениями параметров микроклимата на рабочем месте. Теплоощущения человека оценивают по 7-балльной шкале [2]: «очень холодно», «холодно», «прохладно», «комфортно», «тепло», «жарко», «очень жарко».

8. Сравнив фактические показатели микроклимата с нормативными величинами, сделать заключение о соответствии или несоответствии показателей микроклимата нормативным требованиям, а также предложить мероприятия по нормализации воздушной среды в помещении.

Таблица 1.7

Результаты измерений параметров микроклимата на рабочем месте
(указать название рабочего места)

Период года	Категория работ	Параметры микроклимата	Фактические значения параметров микроклимата	Нормативные значения параметров микроклимата		Тепловые ощущения человека
				оптимальные	допустимые	
		Температура воздуха, °С				
		Относительная влажность воздуха, %				
		Скорость движения воздуха, м/с				

9. Определить воздухообмен в помещении с учетом нормирования параметров микроклимата в производственных помещениях.

Определение воздухообмена в помещении. Нормирование параметров микроклимата в производственных помещениях. Одним из важнейших санитарно-гигиенических условий на рабочем месте в производственном помещении является поддержание чистоты воздуха. По мере совершенствования производства создаются условия, при которых воздух производственных помещений очищается от каких-либо вредных примесей. Однако многие производственные процессы пока еще сопровождаются образованием и выделением вредных веществ, к которым относятся различные газы, пары, аэрозоли и др.

К вредным веществам относятся вещества, которые при контакте с организмом человека (в случае нарушения требований безопасности) могут вызвать профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности: 1 – вещества чрезвычайно опасные; 2 – вещества высокоопасные; 3 – вещества умеренно опасные; 4 – вещества малоопасные [3].

В табл. 1.8 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Таблица 1.8

Краткие сведения о некоторых вредных веществах

Наименование вредного вещества	ПДК, мг/м ³	Агрегатное состояние	Класс опасности
Бензол	5,0	п	2
Медь	1,0	а	2
Свинец	0,01	а	1
Оксид цинка	6,0	а	3
Фенол	0,3	п	2
Формальдегид	0,5	п	2
Фтористые соединения	1,0	а	2

Примечание. Агрегатные состояния вредных веществ: п – пары и (или) газы; а – аэрозоли.

Предельно допустимой концентрацией вредных веществ в воздухе рабочей зоны называется концентрация вредного вещества, которая при ежедневной работе в течение 8 ч и не более 40 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений [3]. Создание благоприятных условий труда внутри помещения требует нормализации показателей микроклимата и состава воздушной среды современными средствами и способами. Требуемое состояние воздуха рабочей зоны может быть обеспечено выполнением определенных мероприятий. Основными из них являются: механизация и автоматизация производственных

процессов, дистанционное управление ими; применение технологических процессов и оборудования, исключающих образование вредных веществ или попадание их в рабочую зону; защита от источников тепловых излучений; устройство вентиляции; применение средств индивидуальной защиты.

В случае поступления части производственных вредностей в рабочую зону наиболее эффективной мерой защиты является вентиляция.

Вентиляция (от лат. *ventilatio* – проветривание) – это регулируемый воздухообмен в помещениях, создающий благоприятное для человека состояние воздушной среды (состава воздуха, температуры, влажности и пр.), а также совокупность технических средств, обеспечивающих такой воздухообмен.

Задачей вентиляции является обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. Вентиляция достигается удалением загрязненного или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха.

Системы вентиляции классифицируются по следующим основным признакам:

- по способу перемещения воздуха – естественная или искусственная (механическая) система вентиляции; возможно также сочетание естественной и механической вентиляции (смешанная вентиляция);

- по назначению – приточная вентиляция – для подачи (притока) или вытяжная вентиляция – для удаления (вытяжки) воздуха из помещения, а также приточно-вытяжная, сочетающая в себе особенности двух систем; приточно-вытяжная вентиляция регулирует температуру и влажность воздуха в помещении;

- по месту действия – местная или общеобменная.

При естественной вентиляции воздухообмен происходит вследствие разности температур, давления наружного воздуха и воздуха в помещении, а также ветрового давления. Разность температур воздуха внутри и снаружи помещения вызывает поступление холодного воздуха в помещение и вытеснение из него теплого воздуха. Естественная вентиляция экономична, проста в эксплуатации, но имеет существенные недостатки: во-первых, применима в основном там, где нет больших поступлений вредных веществ; во-вторых, приточный воздух поступает в помещение необработанным: не подогревается, не увлажняется и не очищается от вредных примесей.

Механическая вентиляция устраняет недостатки естественной вентиляции. При механической вентиляции воздухообмен достигается за счет напора, создаваемого вентилятором. Количество вентиляционного воздуха, необходимого для обеспечения санитарно-гигиенических норм воздушной среды рабочих помещений и удовлетворяющего технологическим требованиям, называется *воздухообменом*.

Действие общеобменной вентиляции основано на разбавлении загрязненного, нагретого, влажного воздуха помещения свежим воздухом до предельно допустимых значений. Такую систему вентиляции наиболее часто

применяют в случаях, когда вредные вещества, теплота, влага выделяются равномерно по всему помещению. При такой вентиляции обеспечивается поддержание необходимых параметров воздушной среды во всем объеме помещения.

Работы по воздухообмену в помещении можно значительно упростить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская распространения по помещению. С этой целью технологическое оборудование, являющееся источником выделения вредных веществ, снабжают специальными устройствами, от которых производится отсос загрязненного воздуха. Такая вентиляция называется местной вытяжной.

В производственных помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздух рабочей зоны большого количества вредных паров и газов, предусматривается устройство аварийной вентиляции наряду с рабочей.

Размещение приточных и вытяжных отверстий должно быть таким, чтобы загрязненный (удаляемый) вентиляцией воздух не проходил через зону дыхания рабочего.

При наличии локальных выделений вредных паров, газов и пыли (в процессе использования местной вытяжной вентиляции) объем возобновляемого воздуха определяется объемом воздуха, удаляемого местными отсосами и разбавлением оставшихся вредных веществ до ПДК.

В вентиляционных устройствах, предназначенных для удаления вредных паров, газов и пыли, должны быть предусмотрены системы очистки, предупреждающие загрязнение атмосферного воздуха.

Метод определения необходимого количества воздуха по кратности воздухообмена применяют для ориентировочных расчетов, когда неизвестны виды и количество выделяющихся вредных веществ. Отношение количества воздуха, поступающего в помещение за 1 ч, к объему помещения называют *кратностью воздухообмена*, т. е.

$$K = \frac{L}{V_{\text{п}}},$$

где L – количество воздуха, поступающего в помещение за 1 ч;

$V_{\text{п}}$ – объем помещения.

Кратность воздухообмена K (ч^{-1}) показывает, сколько раз в час меняется воздух в помещении. Величина K обычно составляет $1-10$.

Расчеты необходимого воздухообмена в помещениях, где выделяются избытки тепла и вредные вещества, рассматриваются в примерах решения задач.

Примеры решения задач

Задача 1. Определить нормируемые показатели микроклимата для помещения конструкторского бюро. Средняя температура наружного воздуха $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение.

1. Нормируемые показатели микроклимата в помещении определяются по [1].
2. Если среднесуточная температура наружного воздуха составляет $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, то период года – холодный.
3. Работу, выполняемую в конструкторском бюро, можно отнести к категории легких I_6 (работа, выполняемая сидя, стоя или связанная с ходьбой и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением, с энерготратами $140\text{--}174\text{ Вт}$ (см. табл. 1.2).

4. Работу в конструкторском бюро можно отнести к работам операторского типа, связанную нервно-эмоциональным напряжением.

Следовательно, в помещении должны создаваться оптимальные микроклиматические условия.

5. Таким образом, оптимальные показатели микроклимата будут определяться по табл. 1.1:

- а) температура воздуха $t = 21\text{...}23\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- б) относительная влажность $\varphi = 40\text{...}60\text{ }%$;
- в) скорость движения воздуха $V = 0,1\text{ м/с}$.

Задача 2. Рассчитать необходимый воздухообмен для удаления избыточного тепла и кратность воздухообмена в помещении, где проводится ремонт телевизоров. Мощность, потребляемая одним телевизором, $P = 200\text{ Вт}$. Количество рабочих мест $n = 10$. Объем помещения 675 м^3 . В осветительной системе применяется 12 ламп накаливания, мощность одной лампы составляет 150 Вт ; светильники открытые подвесные. Площадь остекления помещения $F_{\text{ост}} = 30\text{ м}^2$. Окна с двойным остеклением и металлическими переплетами выходят на север. Суммарные теплотери через ограждающие конструкции помещения $Q_{\text{пом}}$ составляют $15\text{ }%$ от суммарных тепlopоступлений. Среднесуточная температура наружного воздуха – $17\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение.

1. Расчет теплоизлучений от телевизоров производится по формуле

$$Q_{\text{теп}} = 860 \cdot P \cdot n \cdot n_1 \cdot n_2 \text{ (ккал/ч)},$$

где 860 – тепловой эквивалент ($1\text{ кВт}\cdot\text{ч}$), т. е. тепло, эквивалентное $1\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ электрической энергии;

P – мощность, потребляемая телевизором, кВт;

n – количество телевизоров (определяется по числу рабочих мест);

n_1 – коэффициент использования установочной мощности радиотехнических устройств ($n_1 = 0,7\text{...}0,93$) принимаем равным $0,7$;

n_2 – коэффициент одновременной работы всех телевизоров (принимаем равным 1).

Тогда

$$Q_{\text{теп}} = 860 \cdot 0,2 \cdot 10 \cdot 0,7 \cdot 1 = 1204 \text{ (ккал/ч)}.$$

2. Теплопоступления от искусственного освещения оцениваются выражением

$$Q_{\text{осв}} = 860 \cdot N_{\text{осв}} \cdot n_3 \text{ (ккал/ч)},$$

где $N_{\text{осв}}$ – суммарная мощность осветительной системы, кВт;

n_3 – коэффициент использования установочной мощности светильников; для светильников открытых подвесных $n_3 = 0,1$ (см. табл. 1.1).

Следовательно,

$$Q_{\text{осв}} = 860 \cdot 0,15 \cdot 12 \cdot 0,1 = 155 \text{ (ккал/ч)}.$$

3. Теплопоступления от солнечной радиации рассчитываются из выражения

$$Q_{\text{солн}} = 860 \cdot F_{\text{ост}} \cdot q_{\text{рад}} \cdot A_{\text{ост}} \cdot K \cdot 10^{-3} \text{ (ккал/ч)},$$

где $F_{\text{ост}}$ – площадь остекления (по условию $F_{\text{ост}} = 30 \text{ м}^2$);

$q_{\text{рад}}$ – количество тепла, поступающего в помещение через 1 м^2 остекленной поверхности, Вт/м². Для окон с двойным остеклением и металлическими переплетами $q_{\text{рад}} = 93 \text{ Вт/м}^2$ (табл. 1.9)

$A_{\text{ост}}$ – коэффициент для двойного остекления, равный 1,15;

K – коэффициент, учитывающий загрязнение остекления (примем равным 0,8).

Таблица 1.9

Количество тепла $q_{\text{рад}}$, поступающего в помещение через 1 м^2 остекленной поверхности

Вид остекления	Количество тепла $q_{\text{рад}}$ в зависимости от сторон света и широты, Вт/м ²							
	Ю		Ю-В и Ю-З		В и З		С-В и С-З	
	45	65	45	65	45	65	45	65
Окна с двойным остеклением и деревянными переплетами	145	168	128	168	145	168	75	70
Окна с двойным остеклением и металлическими переплетами	186	209	163	209	186	209	93	93

Тогда

$$Q_{\text{солн}} = 860 \cdot 30 \cdot 0,093 \cdot 1,15 \cdot 0,8 = 2207 \text{ (ккал/ч)}.$$

4. Теплопоступления от обслуживающего персонала оцениваются соотношением

$$Q_n = n \cdot q \text{ (ккал/ч)},$$

где n – количество работающих в смену;

q – количество явного тепла, выделяемого одним человеком, которое зависит от энергозатрат организма или категории выполняемых работ.

При работе общеобменной вентиляции для легкой Iб работы принимаем $q_{\text{л}}^{\text{я}} = 79$ ккал/ч (табл. 1.10)

Таблица 1.10

Тепловыделения людей

Температура воздуха, °С	Тепловыделения человека при различных степенях тяжести работы, ккал/ч		
	легкая	средней тяжести	тяжелая
10	130/185	140/185	170/250
15	105/135	115/180	140/250
20	85/130	90/175	110/250
25	55/125	60/170	80/250
30	35/125	35/170	45/250

Примечание. В числителе приведены значения $q_{\text{л}}^{\text{я}}$, в знаменателе – $q_{\text{л}}^{\text{н}}$.

Следовательно,

$$Q_n = 10 \cdot 79 = 790 \text{ (ккал/ч)}.$$

5. Рассчитываются суммарные теплопоступления $Q_{\text{пост}}$ в помещении:

$$Q_{\text{пост}} = Q_{\text{теп}} + Q + Q_{\text{солн}} + Q_n = 1204 + 155 + 2207 + 790 = 4356 \text{ (ккал/ч)}.$$

6. Суммарные теплопотери в помещении от суммарных теплопоступлений составляют 15 %, следовательно, избытки тепла в помещении $Q_{\text{изб}}$ составят

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{пост}} - Q_{\text{пот}} = 4356 - 653 = 3703 \text{ (ккал/ч)}.$$

7. Необходимый воздухообмен в помещении $L_{\text{прит}}$ оценивается выражением

$$L_{\text{прит}} = \frac{Q_{\text{изб}}}{C_b + \rho_b \cdot (t_{\text{уд}} - t_{\text{прит}})} \text{ (м}^3\text{/ч)},$$

где C_b – теплоемкость воздуха, ккал/(кг·град), $C_b = 0,24$ ккал/(кг·град);

ρ_b – плотность воздуха, равная $1,2$ кг/м³;

$t_{\text{уд}}$ – температура воздуха, удаляемого из помещения, °С;

$t_{\text{прит}}$ – температура приточного воздуха, °С.

Тогда

$$L_{\text{прит}} = \frac{3703}{0,24+1,2(22-17)} = \frac{3703}{1,44} = 2572 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

8. Кратность воздухообмена в помещении определяется из выражения

$$K = \frac{L}{V_{\text{п}}} \text{ (ч}^{-1}\text{)},$$

где L – количество воздуха, поступающего в помещение за 1 ч, м³/ч;

$V_{\text{п}}$ – объем помещения, м³.

Следовательно,

$$K = \frac{2572}{675} = 3,8 \text{ (ч}^{-1}\text{)}.$$

Задача 3. Определить необходимый воздухообмен в помещении при следующих условиях: в результате утечки через неплотности оборудования в воздушную среду рабочего помещения объемом $V = 875 \text{ м}^3$ поступают пары бензола, концентрация которого составляет 15 мг/м^3 , избытки тепла в помещении $Q_{\text{изб}} = 3500 \text{ ккал/ч}$. Температура воздуха, удаляемого из помещения, составляет $22 \text{ }^\circ\text{C}$, приточного – $16 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение.

1. Общее количество бензола σ , поступающего в помещение за 1 ч, оценивается выражением

$$\sigma = q_{\text{факт}} \cdot V_{\text{п}} \cdot K \text{ (м}^3\text{/ч)},$$

где $q_{\text{факт}}$ – фактическая концентрация бензола в воздухе помещения;

$V_{\text{п}}$ – объем помещения, м³;

K – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения вредностей по объему помещения, $K = 2 \text{ ч}^{-1}$.

Тогда

$$\sigma = 15 \cdot 875 \cdot 2 = 26250 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

2. Для разбавления бензола до предельно допустимой концентрации (ПДК) необходимое количество воздуха $L_{\text{прит1}}$ определяется из соотношения

$$L_{\text{прит1}} = \frac{\sigma}{K_{\text{ПДК}}} \text{ (м}^3\text{/ч)},$$

где $K_{\text{ПДК}}$ – значение предельно допустимой концентрации бензола, мг/м³ (см. табл. 1.8).

Следовательно,

$$L_{\text{прит1}} = 26250 / 5 = 5250 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

3. Объем воздуха, необходимый для ассимиляции избытков тепла в помещении, рассчитывается по формуле

$$L_{\text{прит}2} = \frac{Q_{\text{изб}}}{C_b + \rho_b \cdot (t_{\text{уд}} - t_{\text{прит}})} \quad (\text{м}^3/\text{ч}),$$

где $Q_{\text{изб}}$ – избытки тепла в помещении, ккал/ч;
 C_b – теплоемкость воздуха, ккал/(кг·град);
 b – плотность воздуха, кг/м³;
 $t_{\text{уд}}$ – температура воздуха, удаляемого из помещения, °С;
 $t_{\text{прит}}$ – температура приточного воздуха, °С.
 Тогда

$$L_{\text{прит}2} = \frac{3500}{0,24 + 1,2 \cdot (22 - 16)} = 2025 \text{ (м}^3/\text{ч)} .$$

4. Принимается необходимый объем подаваемого воздуха по наибольшему из значений. В данном случае $L_{\text{прит}1} = 5250 \text{ м}^3/\text{ч}$.

5. Кратность воздухообмена в помещении оценивается выражением

$$K = \frac{L}{V_{\text{п}}} \text{ (ч}^{-1}\text{)}.$$

Тогда

$$K = 5250 / 875 = 6 \text{ ч}^{-1}.$$

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Определить нормативные показатели микроклимата и рассчитать необходимый воздухообмен для удаления избыточного тепла, а также кратность воздухообмена для производственного помещения в целях обеспечения нормативных гигиенических условий труда при исходных данных, приведенных в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Исходные данные для задачи 1 лабораторной работы №1

№ п/п	Параметр	Номер варианта					
		1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Характеристика выполняемой работы в производственном помещении	Управление технологическим процессом	Ремонт радиоаппаратуры	Конструкторское бюро	Зал вычислительной техники	Машинописное бюро	Настройка и ремонт телевизоров
2	Объем помещения, м ³	360	288	480	495	480	650

Окончание табл. 1.11

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Количество рабочих мест	6	5	7	5	8	6
4	Мощность, потребляемая оборудованием на одном рабочем месте, Вт	420	840	300	550	380	250
5	Мощность источника света (лампа накаливания, газоразрядная лампа), Вт	100	200	150	150	100	150
6	Количество ламп в осветительной установке, n	14	12	11	13	15	10
7	Способ установки светильников в осветительной системе: а) открытые подвесные б) закрытые матовыми стеклами в) встроенные в подвесной потолок	+	+	+	+	+	+
8	Количество тепла, поступающего через оконные проемы, от солнечной радиации, $Q_{\text{солн}}$, ккал/ч	1290	1006	94	385	1280	940
9	Среднесуточная температура наружного воздуха, °С	18	15	17	20	18	17
10	Суммарные тепловые потери в помещении от суммарных теплопоступлений, %	15	20	22	21	18	21

Задача 2. Определить нормативные показатели микроклимата и рассчитать необходимый воздухообмен в производственном помещении и кратность воздухообмена, обеспечивающие чистоту воздуха в рабочей зоне и поддержание нормального физиологического состояния, а также высокой производительности труда работающих, при исходных данных, приведенных в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Исходные данные для задачи 2 лабораторной работы №1

№ п/п	Параметр	Номер варианта					
		1	2	3	4	5	6
1	Среднесуточная температура наружного воздуха, °С	8	15	7	12	17	6
2	Объем помещения, м ³	825	975	880	945	1015	890
3	Пары (аэрозоли) вредных веществ, поступающих в рабочую зону	Медь	Формальдегид	Оксид цинка	Фенол	Фтористые соединения	Свинец
4	Концентрация паров (аэрозолей) в воздухе рабочей зоны	1,5	1,6	8,5	0,7	1,5	0,015
5	Избытки тепла в помещении, $Q_{изб}$, ккал/ч	3000	3500	4000	3800	3600	4100
6	Характеристика выполняемой работы	Изготовление деталей полупроводниковых приборов методом литья и прессования					
7	Температура воздуха, удаляемого из помещения, °С	22	22	20	23	21	20
8	Температура воздуха, подаваемого приточной вентиляцией, °С	15	17	15	18	16	14
9	Концентрация паров (аэрозолей) вредных веществ в приточном воздухе	Отсутствует					

Дополнительная информация для решения задач приведена в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Потери мощности, потребляемой осветительными установками искусственного освещения на тепловыделения

№ п/п	Способ установки светильников	Потери потребляемой мощности на тепловыделения, %
1	Подвесные светильники	100
2	Светильники, встроенные в подвесной потолок	15–45
3	Лампы накаливания в светильниках с матовым стеклянным колпаком	70

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия микроклимата производственного помещения. Какими параметрами он характеризуется?
2. Как влияют неблагоприятные показатели микроклимата на здоровье и работоспособность человека?
3. Назовите способы обмена теплом между человеком и окружающей его средой. Объясните их сущность.
4. Каким образом осуществляется терморегуляция организма человека?
5. Каким образом параметры микроклимата влияют на процесс терморегуляции организма человека?
6. Что называется состоянием теплового равновесия?
7. Что такое гипертермия, при каких условиях и почему она возникает?
8. Что такое гипотермия, при каких условиях и почему она возникает?
9. Чем характеризуются оптимальные и допустимые показатели микроклимата?
10. Перечислите факторы, которые учитываются при нормировании показателей микроклимата.
11. Приведите характеристику категориям тяжести работ в соответствии с энергозатратами.
12. Поясните, что понимается под явной теплотой в производственном помещении, и перечислите ее источники.
13. Каков принцип действия чашечного и крыльчатого анемометра?
14. Дайте определение предельно допустимой концентрации вредных веществ.
15. Перечислите перечень основных мероприятий, обеспечивающих нормативные показатели микроклимата и состава воздушной среды в производственном помещении.
16. Приведите классификацию вентиляции по способу перемещения воздуха, принципу и месту действия.
17. Назовите основные достоинства и недостатки естественной вентиляции.

18. Поясните, в каком случае применяется аварийная вентиляция в производственном помещении.

19. Что показывает кратность воздухообмена в производственном помещении?

Литература

1. Санитарные нормы и правила «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях», Гигиенический норматив «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений» : Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30.04.2013 г. №33.

2. Методические указания 4.3.1895-04 «Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания», 2004 г.

3. Санитарные нормы и правила «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», Гигиенический норматив «Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны» Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 11.10.2017 г. №92.

4. Челноков, А. А. Охрана труда : учебник / А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов, В. Н. Цап ; под общ. ред. А. А. Челнокова. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : Выш. шк. – 2013. – 655 с.

5. Андруш, В. Г. Охрана труда : учебник / В. Г. Андруш, Л. Т. Ткачёва, К. Д. Яшин. – Минск : РИПО, 2019. – 336 с.

6. Навоша, А. И. Нормализация воздушной среды в производственных помещениях: метод. пособие к практическим занятиям по дисциплине «Охрана труда и основы экологии» для студентов всех специальностей БГУИР / А. И. Навоша, Г. М. Дунаева, А. И. Машкович. – Минск : БГУИР, 2002. – 22 с.

Лабораторная работа №2

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И НОРМИРОВАНИЕ ЗРИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА

Цель работы: получить навыки по определению требуемой нормы освещения производственного помещения при выполнении работ различных зрительных категорий, а также гигиенической оценке зрительных условий труда.

Приборы и оборудование:

1. Программное обеспечение «Лабораторная работа. Производственное освещение. Гигиеническая оценка и нормирование зрительных условий труда».
2. Прибор для гигиенической оценки освещения – люксметр Ю-116.

Теоретический материал

Свет является естественным условием жизнедеятельности человека. Он оказывает положительное влияние на эмоциональное состояние человека, воздействует на обмен веществ, сердечно-сосудистую, нервно-психическую системы, является важным стимулятором не только зрительного анализатора, но и организма в целом. Более 80 % всей информации о внешней среде поступает в мозг человека через глаза.

Видимое излучение (свет) – участок общего электромагнитного спектра, состоящего из семи основных цветов, именно он непосредственно вызывает зрительное ощущение (табл. 2.1). Видимые излучения обычно измеряют в нанометрах ($1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$). Чувствительность глаза максимальна в зеленой области спектра при длине волны $\lambda = 554 \text{ нм}$.

Таблица 2.1

Соотношение цветовой гаммы и длин волн

Цвет	Фиолетовый	Синий	Голубой	Зеленый	Желтый	Оранжевый	Красный
Длина волны, нм	380–440	440–480	480–510	510–550	550–585	585–620	620–780

Рациональное освещение производственных помещений оказывает положительное психофизиологическое воздействие на работающих, способствует повышению производительности труда, обеспечению его безопасности, сохранению высокой работоспособности человека в процессе труда. По данным НИИ труда оптимизация производственного освещения способствует повышению производительности труда на 10–20 %, уменьшению брака на 20 % и снижению количества несчастных случаев на 30 % [1].

При недостаточной освещенности и плохом качестве освещения состояние зрительных функций исходно неудовлетворительное, в процессе выполнения работы повышается утомление глаз, возрастает опасность травматизма. Установ-

лено, что плохое освещение является причиной примерно 5 % несчастных случаев на предприятиях, а также глазных болезней, головных болей, быстрой утомляемости.

С целью обеспечения нормальных условий труда и защиты зрения человека в производственных помещениях должно быть установлено освещение, отвечающее требованиям соответствующих норм и правил.

В табл. П.1.1 приведены нормы проектирования, рекомендации, коэффициенты использования, значения световой характеристики.

Основные показатели производственного освещения:

– количественные: световой поток, сила света, освещенность, яркость, коэффициенты отражения, пропускания и поглощения, объект различения;

– качественные: фон, контраст объекта с фоном, видимость, блеск, показатель ослепленности, показатель дискомфорта, коэффициент пульсации освещенности.

Количественные характеристики производственного освещения.

Световой поток F – поток лучистой энергии, оцениваемый глазом по световому ощущению. Единицей измерения светового потока является люмен (лм) – световой поток, излучаемый точечным источником света силой в одну канделу (кд), помещенным в вершину телесного угла в один стерадиан.

Сила света I – световой поток, отнесенный к телесному углу, в котором он излучается:

$$I = F/\omega \text{ (кд)}, \quad (2.1)$$

где ω – телесный угол (в стерадианах) или часть пространства, заключенного внутри конической поверхности.

Телесный угол – часть пространства, которое является объединением всех лучей, выходящих из данной точки (вершины угла) и пересекающих некоторую поверхность, которая называется поверхностью, стягивающей данный телесный угол. Телесный угол измеряется отношением площади той части сферы с центром в вершине угла, которая вырезается этим телесным углом, к квадрату радиуса сферы:

$$\omega = S/R^2 \text{ (ср)}. \quad (2.2)$$

Единицей измерения силы света является кандела (кд) – сила света точечного источника, испускающего световой поток в один люмен, равномерно распределенный внутри телесного угла в один стерадиан.

Освещенность E характеризует поверхностную плотность светового потока и определяется отношением светового потока F , падающего на поверхность, к ее площади S :

$$E = F/S \text{ (лк)}. \quad (2.3)$$

Единицей измерения освещенности является люкс (лк). Один люкс равен освещенности поверхности площадью 1 м^2 , по которой равномерно распределен

световой поток в один люмен (1 лк = 1 лм/м²). Лунный свет дает освещенность 0,25 лк; солнце сквозь облака – 10 000 лк; солнечный свет – 100 000 лк; освещение в офисе – 300–2000 лк; дорожное освещение 10–50 лк.

Основное значение для зрения имеет не прямая освещенность какой-то поверхности, а световой поток, отраженный от этой поверхности и попадающий на глазной зрачок, поэтому введено понятие яркости.

Яркость L – величина, равная отношению силы света, излучаемого элементом поверхности в данном направлении, к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную тому же направлению:

$$L = I/S \text{ (кд/м}^2\text{)}. \quad (2.4)$$

Единицей измерения яркости служит *кандела на квадратный метр* (кд/м²). Например, яркость люминесцентной лампы составляет 0,8 кд/м², а хорошо освещенной улицы – 2 кд/м².

Коэффициент отражения ρ характеризует способность поверхности отражать падающий на нее световой поток. Определяется как отношение отраженного от поверхности светового потока F_ρ к падающему световому потоку F :

$$\rho = F_\rho/F. \quad (2.5)$$

Коэффициент пропускания τ определяется отношением прошедшего через поверхность светового потока F_τ к падающему световому потоку F :

$$\tau = F_\tau/F. \quad (2.6)$$

Коэффициент поглощения α определяется отношением поглощения поверхностью светового потока F_α к падающему световому потоку F :

$$\alpha = F_\alpha/F. \quad (2.7)$$

Коэффициенты отражения, пропускания и поглощения являются безразмерными и измеряются в долях или процентах. Во всех случаях сохраняется условие

$$\rho + \tau + \alpha = 1. \quad (2.8)$$

Объект различения – наименьший рассматриваемый предмет, который необходимо различить в процессе работы.

Качественные характеристики производственного освещения.

К основным показателям, определяющим условия зрительной работы, относятся качественные характеристики производственного освещения.

Фон – это поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Светлость фона характеризуется коэффициентом отражения ρ .

Контраст объекта K с фоном характеризуется отношением разности яркостей рассматриваемого объекта и фона к одной из этих яркостей:

$$K = (L_o - L_\phi) / L_\phi; K = (\rho_o - \rho_\phi) / \rho_\phi, \quad (2.9)$$

где L_o и L_ϕ – яркости объекта и фона соответственно;

ρ_o и ρ_ϕ – коэффициенты отражения объекта и фона.

Когда объект имеет абсолютный контраст, то он равен единице, при его отсутствии (объект сливается с фоном) – нулю. Минимальная величина контраста, при которой глаз воспринимает соседние детали, называется *порогом контрастной ослепленности глаза*. Она зависит от яркости объекта и фона, углового размера объекта и четкости контура объекта на фоне.

Видимость V – расстояние, на котором наблюдаемый объект становится не различим глазом; зависит от освещенности, размера объекта, его яркости, контраста объекта с фоном, длительности экспозиции (представления).

Видимость определяется числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном:

$$V = K / K_{\text{пор}}, \quad (2.10)$$

где K – контраст объекта с фоном;

$K_{\text{пор}}$ – пороговый контраст, т. е. наименьший различимый глазом контраст, при небольшом уменьшении которого объект становится неразличимым.

Блескость – повышенная яркость светящихся поверхностей, вызывающая нарушение зрительных функций (ослепленность), т. е. ухудшение видимости объектов. Снижение видимости при появлении в поле зрения блестящих источников света называется *ослепленностью*. Ослепленность приводит к быстрому утомлению и снижению работоспособности.

Показатель ослепленности P – критерий оценки слепящего действия осветительной установки, определяется выражением

$$P = (S - 1) \cdot 10^3, \quad (2.11)$$

где S – коэффициент ослепленности, $S = V_1 / V_2$;

V_1 и V_2 – видимость объекта различения соответственно при экранировании и наличии ярких источников света в поле зрения.

Максимальное значение коэффициента ослепленности не должно превышать значения 4.

Показатель дискомфорта M – критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения.

Коэффициент пульсации освещенности K_Π – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током, выражающийся формулой

$$K_\Pi = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2 \cdot E_{\text{ср}}} \cdot 100 \%, \quad (2.12)$$

где E_{\max} , E_{\min} , E_{cp} – соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период ее колебания, лк.

Коэффициенты пульсации освещенности при использовании люминесцентных ламп не должны превышать данных, приведенных в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Коэффициенты пульсации освещенности

Система освещения	$K_{\text{п}}$ при разрядах зрительной работы, %		
	I, II	III	V–VIII
Общее освещение	10	15	20
Комбинированное освещение:			
а) общее	20	20	20
б) местное	10	15	20

Для измерения и контроля освещенности применяют люксметр, принцип действия которого основан на фотоэлектрическом эффекте. При освещении селенового фотоэлемента в цепи соединенного с ним гальванометра возникает фототок, обуславливающий отклонение стрелки микроамперметра, шкалу которого градуируют в люксах.

В зависимости от источника света различают естественное, искусственное и совмещенное освещение (сочетание естественного и искусственного).

Естественное освещение – освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Естественное освещение производственных помещений может осуществляться через окна в боковых стенах (*боковое*), через верхние световые проемы, фонари (*верхнее*) или обоими способами одновременно (*комбинированное освещение*). *Достоинства*: экономичность, благоприятное воздействие на организм человека, естественная цветопередача. *Недостатки*: переменно в течение суток, зависит от климатических, сезонных и географических условий.

Искусственное освещение создается электрическими источниками света (лампами накаливания и (или) газоразрядными лампами).

По конструктивному исполнению искусственное освещение подразделяют на *общее* и *комбинированное* (общее + местное). Общее освещение предназначено для освещения всего помещения, осветительные устройства размещаются в верхней зоне помещения. Оно может быть *равномерным* или *локализованным*.

Общее равномерное освещение обеспечивает равномерное распределение светового потока по всему помещению без учета расположения оборудования, а *общее локализованное* – с учетом расположения рабочих мест путем размещения светильников ближе к рабочим поверхностям.

Комбинированное освещение состоит из общего и местного (местный светильник, например, настольная лампа). Его устанавливают при работах высокой точности, а также при необходимости создания определенного или изменяемого

в процессе работы направления света. Доля общего освещения в комбинированном должна быть не менее 10 %.

Местное освещение предназначено для освещения только рабочих поверхностей и не создает необходимой освещенности даже на прилегающих к ним площадях. Применение только местного освещения, как стационарного, так и переносного, в производственных помещениях не допускается [1].

Система общего освещения должна соответствовать следующим требованиям:

- светильники должны быть оснащены антибликовыми приспособлениями (сетками, диффузорами и т. д.);
- часть света должна быть направлена на потолок и на верхнюю часть стен;
- светильники должны быть установлены вне поля зрительной видимости работника, чтобы уменьшить ослепление и сделать освещение более однородным.

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

Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для освещения помещений используют наиболее экономичные газоразрядные лампы. Использование ламп накаливания для общего освещения допускается только в случае невозможности или техникоэкономической нецелесообразности использования газоразрядных ламп. Для местного освещения, кроме газоразрядных источников света, рекомендуется использовать лампы накаливания, в том числе галогенные.

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное. Освещение безопасности предназначено для освещения помещений при аварийном отключении рабочего освещения в случае взрыва, пожара, отравления людей, длительного нарушения технологического процесса, нарушения режима работы детских учреждений, нарушения работы электрических станций, узлов радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерских пунктов, насосных установок водоснабжения, канализации и теплофикации, установок вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ, и т. п. Освещение безопасности должно создавать на рабочих поверхностях наименьшую освещенность в размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения, от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк – для территорий предприятий. Питание светильников при этом осуществляется с помощью резервных автономных генераторов.

Эвакуационное освещение предназначено для безопасной эвакуации людей из помещений при аварийном отключении рабочего освещения в местах, опасных для прохода людей, на лестницах, вдоль основных проходов производственных помещений, в которых работает более 50 человек. Это освещение должно обеспечивать на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц освещенность 0,5 лк (в помещениях) и 0,2 лк – на открытых территориях.

Для аварийного освещения (освещения безопасности и эвакуационного) следует применять лампы накаливания; люминесцентные лампы – в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5 °С при условии питания ламп во всех режимах напряжением не ниже 90 % от номинального; газоразрядные лампы высокого давления – при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

Охранное освещение предусматривается вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Оно должно обеспечивать освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли. Для охранного освещения могут использоваться любые источники света, за исключением случаев, когда охранное освещение нормально не горит и автоматически включается от действия охранной сигнализации или других технических средств. В таких случаях должны применяться лампы накаливания.

Дежурное освещение предназначено для минимального искусственного освещения при несении дежурства, охраны, в нерабочее время, совпадающее с темным временем суток. Для дежурного освещения могут использоваться любые источники света.

Кроме естественного и искусственного освещения, может применяться их сочетание, когда освещенности за счет естественного света недостаточно для выполнения той или иной работы. Такое освещение называется *совмещенным*. Для выполнения работы наивысшей, очень высокой и высокой точности обычно естественной освещенности недостаточно, поэтому применяют совмещенное освещение.

Основные требования к искусственному освещению производственных помещений.

Требования, которым должно отвечать освещение на рабочем месте:

- освещенность должна соответствовать характеру зрительной работы;
- яркость света должна быть достаточной;
- равномерное распределение светового потока по рабочей поверхности;
- источник света не должен слепить глаза;
- освещение должно быть рассеянным и не создавать глубоких теней;
- величина освещения постоянна во времени;
- оптимальный спектральный состав;
- все элементы осветительных установок должны быть долговечны, взрыво- пожаро- и электробезопасны.

Электрические источники света. Правильный выбор типов и мощности ламп оказывает решающее влияние на эксплуатационные качества и экономическую эффективность осветительных установок, на соответствие искусственного освещения предъявленным к нему требованиям. В осветительных установках, предназначенных для освещения производственных помещений и территорий предприятий, в качестве источников света применяют:

- лампы накаливания;
- газоразрядные лампы низкого (люминесцентные) и высокого давления.

Основные характеристики ламп:

- электрическая мощность W , Вт;
- световой поток F , лм;
- удельная световая отдача η :

$$H = F/W \text{ (лм/Вт)}. \quad (2.13)$$

Световая отдача показывает, с какой экономичностью потребляемая электрическая мощность преобразуется в свет:

- номинальное напряжение питающей сети U , В;
- средний срок службы t , ч.

В системах производственного освещения предпочтение отдается газоразрядным лампам. Использование ламп накаливания допускается в случае невозможности или экономической нецелесообразности применения газоразрядных ламп.

Лампы накаливания. Лампы накаливания применяются в помещениях, где проводят грубые работы или осуществляют надзор за работой оборудования. В системах производственного освещения применяются лампы накаливания общего назначения с номинальным напряжением 127 и 220 В и лампы накаливания местного освещения с напряжением 24 и 40 В.

Достоинства ламп накаливания:

- относительно низкая стоимость;
- простота в изготовлении;
- удобство и надежность в эксплуатации (не требуют включения в сеть дополнительных пусковых устройств);
- незначительный период разгорания;
- компактность;
- практически не зависят от условий окружающей среды;
- световой поток к концу срока службы снижается незначительно.

Недостатки ламп накаливания:

- низкая световая отдача (не более 20 лм/Вт), а следовательно, неэкономичность эксплуатации;
- небольшой срок службы (до 1 000 ч);
- неблагоприятный спектральный состав (преобладание желтой и красной частей спектра);

Галогенные лампы накаливания (ГЛН) наряду с вольфрамовой нитью содержат в колбе пары галогена (йод, бром), который повышает температуру накала нити и практически исключает испарение. По сравнению с лампами накаливания они имеют значительно меньшие размеры, более высокие термостойкость и механическую прочность, продолжительный срок службы (до 2 000 ч) и повышенную светоотдачу (до 22 лм/Вт). ГЛН применяются в системах общего освещения, прожекторах и т. п.

Газоразрядные лампы низкого давления. Иначе их называют люминесцентными. Люминесцентная лампа – газоразрядный источник света, световой поток

которого определяется в основном свечением люминофоров под воздействием электрических зарядов, проходящих через него. Наиболее распространенной разновидностью подобных источников является ртутная люминесцентная лампа.

Выбор типа люминесцентных ламп для освещения того или иного рабочего помещения зависит от особенностей работы и окраски помещения. Компактная люминесцентная лампа (КЛЛ) – лампа, имеющая меньшие размеры по сравнению с колбчатой лампой и меньшую чувствительность к механическим повреждениям. Основное их преимущество – экономичность в компактной форме. Они позволяют снизить расходы на электричество до 80 % по сравнению с лампами накаливания, причем срок службы может быть больше в 15 раз.

Достоинства КЛЛ по сравнению с лампами накаливания:

- высокая световая отдача (до 75 лм/Вт);
- большой срок службы (до 10 000 ч);
- экономичность;
- возможность применения источника света различного спектрального состава при лучшей для большинства типов цветопередаче;
- относительно малая (хотя и создающая ослепленность) яркость;
- выделение значительно меньшего тепла.

Недостатки КЛЛ по сравнению с лампами накаливания:

- относительная сложность схемы включения;
- ограниченная единичная мощность;
- зависимость от условий эксплуатации (при низкой температуре, большой влажности они плохо загораются и быстро выходят из строя. Для оптимальной работы лампы температура в помещении должна быть 18–25 °С, а влажность – не более 70 %);

- значительное снижение светового потока к концу срока службы;
- стробоскопический эффект, т. е. искажение зрительного восприятия в пульсирующем световом потоке.

Газоразрядные лампы высокого давления. Различают дуговые ртутные люминесцентные лампы (ДРЛ), дуговые ртутные лампы с добавкой металлов (ДРИ), ксеноновые газоразрядные лампы (ДКсТ), натриевые газоразрядные лампы (ДНаТ). Лампы ДРЛ позволяют создать большие уровни освещенности без значительных затрат на электроэнергию и применяются в высоких цехах при наличии пыли, дыма и копоти в воздухе. Используются для освещения территорий предприятий, населенных пунктов, а также производственных помещений большой высоты.

Достоинства ДРЛ по сравнению с люминесцентными лампами:

- более высокая световая отдача (до 55 лм/Вт);
- большой срок службы (10 000–15 000 ч);
- компактность;
- устойчивость к условиям внешней среды;
- меньшая чувствительность к колебаниям напряжения.

Недостатки ДРЛ по сравнению с люминесцентными лампами:

- длительность разгорания при включении (до 7 мин);

- большая пульсация светового потока;
- значительное снижение светового потока к концу срока службы;
- преобладание в спектре лучей сине-зеленой части (что исключает их применение, когда объектами различения являются лица людей или окрашенные поверхности).

В тех случаях, когда нельзя использовать лампы ДРЛ, применяются дуговые ртутные лампы с добавкой йодидов металлов (ДРИ), их часто называют металлогалогенными. Они являются одним из наиболее экономичных источников света общего назначения, что позволяет использовать их для освещения производственных помещений большой высоты и площади, строительных площадок, карьеров, а также других мест работы под открытым небом.

Ксеноновые газоразрядные лампы (дуговые ксеноновые трубчатые). Спектр излучения ксеноновых ламп почти полностью воспроизводит спектр солнечного света, что позволяет правильно воспринимать цветовые оттенки. Лампы применяются только для освещения территорий предприятия в связи с опасностью ультрафиолетового облучения работающих в помещении.

Достоинство: лампы ДКсТ выпускаются на единичные мощности от 5 до 10 кВт и имеют самый близкий к естественному свету спектральный состав. Но это их достоинство не используется, поскольку внутри зданий они не применяются.

Недостатки:

- большая пульсация светового потока;
- избыток в спектре ультрафиолетовых лучей, вызывающий необходимость создания защитных колб;
- малая надежность пусковых устройств;
- сравнительно низкая отдача светового потока (по сравнению с ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и галогенными источниками повышенной мощности).

Натриевые газоразрядные лампы обладают наивысшей эффективностью и удовлетворительной цветопередачей. Их применяют для освещения цехов большой высоты, где требования к цветопередаче невысоки.

Достоинства натриевых газоразрядных ламп:

- высокая световая отдача (80–150 лм/Вт);
- большой срок службы (16 000–28 000 ч);
- одна лампа ДНаТ мощностью 250 Вт может заменить две лампы ДРЛ мощностью 250 Вт или три лампы накаливания мощностью по 500 Вт.

Недостаток: низкая цветопередача, поэтому в первую очередь они применяются для освещения автомагистралей, туннелей, протяженных складских помещений, растений в теплицах, в архитектурной подсветке и для освещения больших открытых пространств.

Нормирование и гигиеническая оценка производственного освещения.

Нормы освещенности построены на основе классификации работ по определенным количественным признакам. Производственное освещение нормируется в зависимости:

- от точности зрительной работы;
- яркости фона;
- контраста объекта и фона;
- системы освещения.

Точность зрительной работы характеризуется минимальным размером объекта различения. *Объект различения* – это элемент рассматриваемого объекта минимального размера, который нужно узнавать и различать. По степени точности все зрительные работы делятся на восемь разрядов. В свою очередь разряды делятся на четыре подразряда в зависимости от характеристики фона и контраста между объектом и фоном. Деление разрядов зрительных работ на подразряды дает возможность более дифференцированно выбрать освещенность для каждой зрительной работы.

Гигиеническая оценка производственного освещения заключается в измерении или расчете *фактической освещенности* на рабочей поверхности и сравнении ее с нормативным значением, которое указано в строительных или отраслевых нормах освещенности рабочих мест, в зависимости от вида работ. Рабочей считается поверхность, на которой непосредственно производится работа.

Нормирование искусственного освещения. Нормирование осуществляется непосредственно по минимальной освещенности рабочей поверхности (E , лк).

Нормируемые значения освещенности в люксах, отличающиеся на одну ступень, образуют шкалу: 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000 лк [3].

В ряде случаев нормы освещенности необходимо повышать или понижать на одну ступень по шкале освещенности. Например, если работа связана с повышенной опасностью травматизма, если различаемые объекты расположены от глаз далее чем на 0,5 м, нормы освещенности повышают на одну ступень согласно специальной шкале освещенности. В помещениях, где выполняются работы IV–VI разрядов, нормы освещенности следует снижать на одну ступень при кратковременном пребывании людей или при наличии оборудования, не требующего постоянного обслуживания.

Нормирование естественного освещения. Непостоянство естественного света даже в течение короткого промежутка времени вызвало необходимость нормировать естественное освещение с помощью относительного показателя – коэффициента естественной освещенности (КЕО).

КЕО – это отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах [3]:

$$\text{КЕО} = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} \cdot 100 \%, \quad (2.14)$$

где $E_{\text{вн}}$ – освещенность какой-либо точки внутри помещения;

$E_{\text{нар}}$ – освещенность точки вне помещения.

В небольших помещениях при одностороннем боковом естественном освещении (рис. 2.1, а) нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности. При двустороннем боковом освещении (рис. 2.1, б) – в точке посередине помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности. При верхнем или комбинированном естественном освещении (рис. 2.1, в, г) нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности. Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен [3].

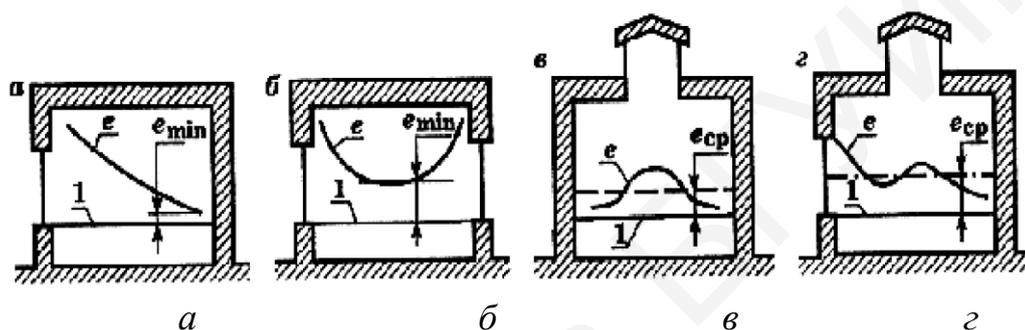


Рис. 2.1. Схема распределения КЕО по разрезу помещения:
а – одностороннее боковое освещение; б – двустороннее боковое освещение; в – верхнее освещение; г – комбинированное освещение;
1 – уровень рабочей поверхности

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

Нормирование совмещенного освещения. Совмещенное освещение, так же как и естественное, нормируют с помощью КЕО в зависимости от выполняемого разряда зрительной работы и конструктивного исполнения искусственного освещения. Совмещенное освещение оценивается при отключенных источниках искусственного света.

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

В крупногабаритных производственных помещениях при боковом освещении минимальное значение КЕО нормируется в точке, удаленной от световых проемов:

- на 1,5 высоты помещения для работ I–IV разрядов;
- на 2 высоты помещения для работ V–VII разрядов;
- на 3 высоты помещения для работ VIII разряда.

Характерный разрез помещения – поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или продольной оси пролетов помещения (участки

с наибольшим количеством рабочих мест, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов).

В практике КЕО широко используется при расчетах величины световых проемов в проектируемых зданиях. Кроме того, он применяется в качестве оценки пригодности помещения для выполнения работ заданной точности. Такая оценка проводится для помещений, целевое назначение которых изменилось.

При выборе требуемого минимального уровня освещенности рабочего места необходимо установить *разряд (характер) выполняемой зрительной работы*. Его определяют по наименьшему *размеру объекта различения* (мм).

В производственных помещениях со зрительной работой I–III разрядов следует устраивать совмещенное освещение.

При искусственном освещении рабочих мест нормируется минимальная освещенность рабочей поверхности в зависимости от разряда и подразряда выполняемой работы. Подразряд зрительной работы определяется в зависимости от характеристики фона и контраста объекта различения с фоном.

В помещениях, где выполняются работы IV–VI разрядов, их нужно снижать на одну ступень при кратковременном пребывании людей или при наличии оборудования, не требующего постоянного обслуживания.

Проектирование естественного освещения. Проектирование естественного освещения заключается в расчете требуемой площади световых проемов и в выборе конструкции оконных проемов или световых фонарей.

При боковом естественном освещении требуемая общая площадь световых проемов может быть определена выражением [3]

$$100 \frac{S_o}{S_{\Pi}} = \frac{e_n K_z \eta_o}{\tau_{об} \rho_o} \cdot K_{зд}, \quad (2.15)$$

а при верхнем освещении определяется формулой

$$100 \frac{S_{\Phi}}{S_{\Pi}} = \frac{e_n K_z \eta_{\Phi}}{\tau_{об} \rho_o K_{\Phi}}, \quad (2.16)$$

где S_o – требуемая площадь световых проемов при боком освещении, м²;

S_{Φ} – требуемая площадь световых проемов освещении, м²;

S_{Π} – площадь пола помещения, м²;

e_n – нормированное значение КЕО, % (см. табл. П.1.1);

K_z – коэффициент запаса, учитывающий снижение КЕО и освещенности вследствие загрязнения и старения световых проемов (см. табл. П.1.1);

η_o – световая характеристика окон (см. табл. П.1.1);

η_{Φ} – световая характеристика фонаря (принимается равным 1);

$K_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями (принимается равным 1–1,7);

K_{Φ} – коэффициент, учитывающий тип фонаря (см. табл. П.1.1);

$\tau_{об}$ – общий коэффициент светопропускания (принимается равным 0,98);

ρ_0 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей (принимается равным 1,05–1,7).

Для ориентировочного определения площади световых проемов иногда используют световой коэффициент, определяемый по формуле

$$K_{\text{св}} = \frac{S_{\text{св}}}{S_{\text{п}}} > \frac{1}{4} \dots \frac{1}{5}, \quad (2.17)$$

где $S_{\text{св}}$ – площадь световых проемов, м²;

$S_{\text{п}}$ – площадь пола, м².

Далее, исходя из габаритов помещения и общей площади световых проемов, выбирают конструкцию, количество и размеры оконных проемов.

Проектирование и расчет искусственного освещения. Одним из наиболее распространенных и применяемых на практике является *метод коэффициента использования светового потока*, который предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Проектирование и расчет искусственного освещения по данному методу осуществляются в следующей последовательности:

1. Выбирается система освещения (общая или комбинированная), тип источника света (лампы накаливания или газоразрядные) и светильники.

Выбор системы освещения и светильников обуславливается зрительными работами в помещении, а их размещение должно обеспечить направление световых потоков на рабочие места, ограничение ослепленности, удобство доступа к светильникам для их обслуживания и создание нормированной освещенности более экономичными средствами. При выполнении в помещении работ I–III, IVa–в, Va разрядов следует применять систему комбинированного искусственного освещения. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при газоразрядных лампах, и не менее 75 лк при лампах накаливания.

В помещениях без естественного света освещенность рабочей поверхности, создаваемую светильниками общего освещения в системе комбинированного, следует повышать на одну ступень. Для местного освещения в системе комбинированного следует использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Местное освещение рабочих мест, как правило, должно быть оборудовано регуляторами освещения.

Светильники с лампами накаливания размещаются в вершинах квадратных, прямоугольных или треугольных полей, что дает наибольшую равномерность освещения.

Светильники с газоразрядными лампами (люминесцентными) рекомендуется располагать сплошными рядами или с небольшими разрывами, ориентируя

ряды параллельно стенам с окнами или продольными осям помещения по длине вдоль рабочих столов или технологического оборудования.

В узких помещениях допустимо однорядное расположение светильников. В системах производственного освещения предпочтение отдается газоразрядным лампам. Использование ламп накаливания допускается в случае невозможности или экономической нецелесообразности применения газоразрядных ламп.

Тип светильника выбирается исходя из характеристик помещения (см. табл. П.1.1).

2. Производится размещение светильников по высоте помещения [3].

Положение светильников в разрезе и на плане помещения определяется расчетной высотой подвеса светильника h_p над рабочей поверхностью и расстоянием l между соседними точечными светильниками или рядами линейных светильников с люминесцентными лампами.

Расчетная высота подвеса светильника h_p может быть определена исходя из геометрических размеров помещения в соответствии с рис. 2.2 по формуле

$$h_p = H - (h_c + h_n), \quad (2.18)$$

где H – высота помещения, м;

h_c – расстояние светильника от перекрытия («свес» светильника), выбирается исходя из высоты помещения H , м;

h_n – высота рабочей поверхности над полом (обычно $h_n = 0,8$ м).

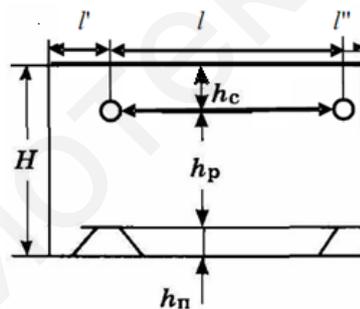


Рис. 2.2. Разрез помещения

3. Определяем расстояния между светильниками (рядами светильников) L по формуле

$$L = \lambda \times h_p, \quad (2.19)$$

где λ – оптимальное отношение расстояния между светильниками L к высоте их подвеса h_p (см. табл. П.1.1).

4. Производим размещение светильников на плане помещения. Предварительно необходимо определить расстояние от крайнего светильника (ряда светильников) до стены помещения по следующим формулам:

– если у стен расположены рабочие места:

$$L_1 = (0,25 \dots 0,3)L; \quad (2.20)$$

– если у стен расположены проходы:

$$L_2 = (0,4 \dots 0,5)L. \quad (2.21)$$

Оценим, сколько рядов можно разместить в помещении:

$$2L_{1(2)} + L(n_p - 1) \leq b. \quad (2.22)$$

Следовательно,

$$n_p \leq [(b - 2)L_{1(2)} / L] + 1, \quad (2.23)$$

где n_p – количество рядов в помещении;

b – ширина помещения, м.

Определим количество светильников в ряду, учитывая, что сумма расстояний от светильников до стен и длины светильников должна быть меньше длины помещения. Количество светильников рассчитаем по формуле

$$2 \cdot L_{1(2)} + L_{\text{св}} \cdot n_{\text{св}} \leq a, \quad (2.24)$$

$$n_{\text{св}} \leq (a - 2L_{1(2)}) / L_{\text{св}}, \quad (2.25)$$

где $n_{\text{св}}$ – количество светильников в ряду;

a – длина помещения, м;

$L_{\text{св}}$ – длина светильника, м.

По полученным данным на плане помещения, вычерченном в масштабе, производится окончательное уточнение расположения светильников и их количества.

5. Определяем коэффициент использования светового потока η в зависимости от индекса помещения, типа светильника и коэффициентов отражения потолка $p_{\text{п}}$, стен $p_{\text{с}}$ и рабочей поверхности $p_{\text{рп}}$ (см. табл. П.1.1).

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{a \cdot b}{h_{\text{п}} (a + b)}, \quad (2.26)$$

где i – индекс помещения;

a и b – длина и ширина помещения, м.

6. Производим расчет светового потока лампы, необходимого для создания на рабочих поверхностях освещенности на все время эксплуатации осветительной установки. Световой поток лампы определяется по формуле

$$F = \frac{E_{\text{min}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (2.27)$$

где F – световой поток одной лампы, лм;

E_{min} – нормативная минимальная освещенность, лк;

S – освещаемая площадь помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий запыленность светильников и износ источников света в процессе эксплуатации (см. табл. П.1.1);

Z – коэффициент неравномерности минимальной освещенности;

N – число светильников на плане помещения;

n – число ламп в одном светильнике;

η – коэффициент использования светового потока (в долях).

Коэффициент неравномерности минимальной освещенности рассчитывается по формуле

$$Z = E_{\text{ср}} / E_{\text{min}}. \quad (2.28)$$

Рекомендуется принимать значение Z , равное 1,15, для ламп накаливания и 1,1 – для люминесцентных ламп.

7. Выбираем ближайшую стандартную лампу по полученному в результате расчета требуемому световому потоку (см. табл. П.1.1). Допускается отклонение Δ светового потока лампы не более чем на 10–20 %. Для этого выполняется проверка по формуле

$$\Delta = \frac{F_{\text{станд}} - F}{F}, \quad (2.29)$$

где $F_{\text{станд}}$ – световой поток стандартной лампы.

При невозможности выбора лампы с таким приближением корректируют количество светильников.

Помимо рассмотренного метода расчет светового потока, необходимого для обеспечения требуемой освещенности (E_n), может также осуществляться *точечным методом* и *методом ватт*. Этот метод основан на определении по светотехническим справочникам удельной мощности осветительной установки в зависимости от заданных параметров установки и числа светильников.

Проектирование совмещенного освещения. В производственных помещениях со зрительной работой I, II, III разрядов следует устраивать совмещенное освещение. При расчете общей площади световых проемов для естественного освещения в системе совмещенного используются нормированные значения КЕО, приведенные в табл. П.1.1 (совмещенное освещение). В крупнопролетных сборочных цехах (аудиториях), в которых работы выполняются в значительной части объема помещения на разных уровнях от пола и на разных ориентированных в пространстве рабочих поверхностях, допускается применение верхнего естественного освещения. При этом нормированные значения КЕО (e_n) принимаются для разрядов I, II, III соответственно (10, 7 и 5 %).

Общее искусственное освещение (независимо от принятой системы освещения) в системе совмещенного освещения в производственных помещениях, предназначенных для постоянного пребывания людей, должно обеспечиваться газоразрядными источниками света. Нормированные значения освещенности (E_n) приведены в табл. П.1.1.

Проектирование и расчет искусственного освещения в системе совмещенного освещения производится аналогично описанному выше.

При гигиенической оценке естественного освещения оценивается (сравнивается с нормативом) минимальное значение коэффициента естественной освещенности E_{\min} , имеющее место:

- при одностороннем боковом освещении на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;
- двустороннем боковом освещении – в точке посередине помещения;
- верхнем и боковом освещении – среднее значение КЕО в точках на расстоянии 1 м от стены.

Гигиеническая оценка производственного помещения.

Прибор для измерения освещенности называется люксметром. В качестве приемника света люксметры имеют, как правило, либо селеновый фотоэлемент, либо кремниевый фотодиод. Для измерения освещенности помещений используется люксметр Ю-116. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте. Люксметр (рис. 2.3) состоит из фотоэлемента, соединенного с милливольтметром. Шкалы последнего проградуированы в люксах с пределами измерений: нижняя – от 0 до 30 лк, верхняя – от 0 до 100 лк. Увеличение пределов измерений осуществляется за счет применения насадок. В комплект входят три насадки с коэффициентами ослабления 10, 100, 1000. Перечисленные насадки применяются вместе с матовой полусферической насадкой.

При использовании насадок предел измерений по верхней и нижней шкалам увеличивается. Новые значения пределов измерений в зависимости от комплекта применяемых насадок указаны в правой части прибора. В левой колонке указаны предельные значения нижней шкалы прибора в зависимости от применяемого комплекта насадок, в правой – предельные значения верхней шкалы. При подготовке прибора к измерению стрелка устанавливается на нулевое деление шкалы с помощью корректора. Показания прибора в делениях (лк) по соответствующей шкале умножают на коэффициент в зависимости от применяемых насадок и получают значение $E_{\text{изм}}$ (лк). Для ускорения поиска диапазона измерений рекомендуется сначала использовать насадку с большим коэффициентом ослабления, а затем переходить к насадке с меньшим ослаблением. При этом, работая с каждой насадкой, рекомендуется сначала нажимать правую, а затем левую кнопку. Для получения правильной освещенности следует оберегать селеновый фотоэлемент от лишней освещенности, не соответствующей выбранным насадкам, но при реальных уровнях общего освещения в лабораторном помещении. Благодаря применению насадок с помощью люксметра Ю-116 можно измерять освещенность до 100 000 лк.

Перед началом измерений необходимо соединить фотоэлемент с милливольтметром, т. е. вилку фотоэлемента вставить в гнездо прибора, *строго соблюдая полярность*. Для того чтобы прибор при этом не вынимать из футляра, в последнем напротив соединительного гнезда сделан специальный вырез. Включение прибора производится нажатием одной из кнопок в правой нижней части прибора (левая – нижняя шкала, правая – верхняя).



Рис. 2.3. Общий вид люксметра Ю-116

Измерение освещенности следует начинать по шкале 0–30 (нажимается левая кнопка). Если при этом стрелка на шкале прибора смещается в крайнее правое положение, необходимо переключиться на шкалу 0–100 (нажимается правая кнопка). Если в этом случае стрелка прибора окажется в крайнем правом положении, следует использовать поочередно насадки в зависимости от освещенности, каждый раз начиная измерение по нижней шкале. Смещение стрелки прибора в крайнее левое положение шкалы свидетельствует о том, что измеряемая освещенность мала. При этом следует заменить насадки с большим коэффициентом ослабления на насадки с меньшим коэффициентом или снять их совсем. При определении освещенности фотоэлемент устанавливается горизонтально на рабочих местах.

Выполнение лабораторной работы

Ход работы:

1. Изучить принципы организации производственного освещения и особенности гигиенической оценки искусственного, естественного и совмещенного освещения.

2. Ознакомиться с прибором для гигиенической оценки освещения, получить практические навыки работы на люксметре марки Ю-116.

3. Провести измерение светотехнических характеристик производственного помещения и дать рекомендации по нормализации условий труда для зрительных работ конкретного вида.

Измерение естественного освещения [5].

1. Произвести измерение освещенности помещения на расстоянии 1, 2, 3, 4, 5 м от наружной стены помещения. Измерение производится на уровне горизонтальной рабочей поверхности на высоте 0,8 м от пола. При этом фотоэлемент удерживается горизонтально. Одновременно необходимо произвести измерение освещенности вне помещения в точке под открытым небосводом (фотоэлемент выставляется в окно). Полученные данные записать в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты измерения естественного освещения

Расстояние от поверхности наружной стены L , м	1	2	3	4	5	Освещенность $E_{нар}$ вне помещения, лк
Освещенность $E_{вн}$, лк						

2. Построить кривую светораспределения в помещении (рис. 2.4).

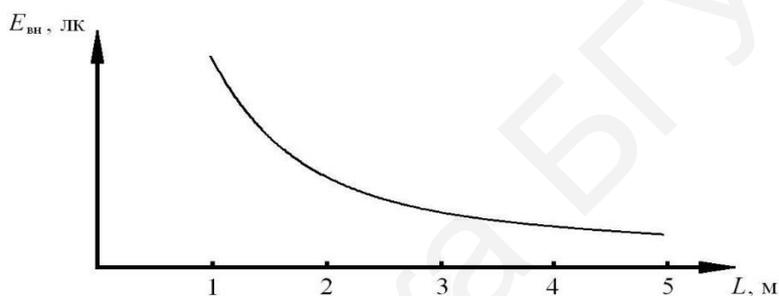


Рис. 2.4. Кривая светораспределения в помещении

3. Определить КЕО, %, для точки, расположенной в 5 м от окна.

4. Определить разряд и подразряд зрительной работы. По табл. П.1.1 такие размеры соответствуют разряду зрительной работы IV. При этом используется белая бумага, значит, фон светлый. Так как применяем темные чернила или черную типографскую краску, то контраст объекта (точки) с фоном – большой. В табл. П.1.1 для IV разряда зрительной работы ищем слова «большой» и «светлый» на одном уровне по горизонтали и определяем подразряд зрительной работы – г. Значит, разряд и подразряд зрительной работы – IVг, т. е. работы средней точности.

5. На основании полученных данных дать оценку помещения с точки зрения пригодности его для выполнения работ определенной точности.

Измерение искусственного освещения [5].

Зашторить окна, включить искусственный свет и произвести измерение освещенности на четырех рабочих местах. Записать полученные данные в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты измерения искусственного освещения

Рабочие места	1	2	3	4
Освещенность, лк				

Для заданного разряда и подразряда работ определить минимальную освещенность и сопоставить с фактической. Сделать вывод о соответствии фактической освещенности нормативным требованиям. При необходимости дать рекомендации по улучшению освещенности в помещении.

Примеры решения задач

Задача 1. Для освещения компьютерного зала (работа очень высокой точности, разряд IIa) с размерами $A = 18$ м, $B = 12$ м и высотой $H = 3$ м используется 20 светильников ЛПО46 с двумя люминесцентными лампами типа ЛБ40. Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен и пола соответственно равны $\rho_{\text{потолка}} = 70\%$, $\rho_{\text{стен}} = 50\%$, $\rho_{\text{пола}} = 10\%$. Затенения рабочих мест нет. Высота свеса светильника $h_c = 0$, высота рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м. Определить фактическую освещенность помещения при общем равномерном освещении и сравнить с нормативной величиной.

Решение.

По табл. П.1.1 находим нормативную величину освещенности для видеодисплейных терминалов $E_n = 400$ лк (помещения для работы с дисплеями, видеотерминалами). При проверке соответствия освещенности в помещении нормативному уровню, когда известно количество светильников, ламп, их тип и мощность, фактическую освещенность в помещении определяем по формуле

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot F_{\text{л}} \cdot \eta \cdot n}{S_{\text{п}} \cdot K_3 \cdot Z}, \quad (2.30)$$

где N – число светильников, 20 шт.;

$F_{\text{л}}$ – световой поток лампы, 3000 лм (см. табл. П.1.1);

n – число ламп в светильнике, 2 шт.;

$S_{\text{п}}$ – площадь освещаемого помещения;

Z – коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп, равный 1,1;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности из-за загрязнения и старения лампы, имеет значение 1,5 (см. табл. П.1.1);

η – коэффициент использования осветительной установки (см. табл. П.1.1).

Для определения η необходимо знать тип светильника, индекс помещения и коэффициента отражения светового потока от потолка, стен и пола. Так как тип светильника и коэффициента отражения светового потока известны, то для нахождения η необходимо определить значение индекса помещения i , который определяется уравнением

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{\text{п}} \cdot (A + B)}, \quad (2.31)$$

где A и B – соответственно длина и ширина помещения, м;

$h_{\text{п}}$ – высота от рабочей поверхности до светильника, определяется высотой помещения (H , м) и высотой условной рабочей поверхности ($h_p = 0,8$ м) по формуле

$$h_{\text{п}} = H - h_c - h_p = 3 - 0 - 0,8 = 3,2 \text{ м.}$$

Подставляем полученное значение $h_{\text{п}}$ в уравнение и находим индекс помещения: $i = 3,27$ м.

Определяем коэффициент использования осветительной установки (см. табл. П.1.1), который оказывается равным 69 %. Подставляем все найденные величины в формулу для определения фактической освещенности в помещении $E_{\text{ф}}$:

$$E_{\text{ф}} = \frac{20 \cdot 3000 \cdot 0,69}{18 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 232,3 \text{ лк.}$$

Так как полученная величина $E_{\text{ф}} < E_{\text{н}}$, то для достижения нормативной освещенности необходимо либо увеличить количество светильников, либо увеличить мощность ламп. Посчитаем степень увеличения W :

$$W = \frac{400}{232,3} = 1,72 \text{ раз.}$$

Теперь можно вычислить необходимое количество светильников:

$$N_1 = 20 \cdot 1,72 = 34,4 \text{ шт.}$$

Увеличим количество светильников до 35 шт., тогда

$$E_{\text{ф}} = \frac{35 \cdot 3000 \cdot 0,69 \cdot 2}{18 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 406,6 \text{ лк.}$$

Таким образом, при увеличении количества светильников до 35 шт. фактическая освещенность $E_{\text{ф}}$ практически будет соответствовать нормативному значению освещенности $E_{\text{н}}$.

Задача 2. Рассчитать необходимую площадь окон для бокового одностороннего естественного освещения для производственного участка размерами $A \cdot B = 108 \cdot 9$ м и высотой 3,8 м. Высота от уровня рабочей поверхности до верха окна $h_1 = 2,4$ м. Здание находится в г. Гомель (III световой пояс). Напротив участка нет затеняющих зданий. Окна ориентированы на запад. Характер зрительной работы соответствует IV разряду. Коэффициент отражения потолка равен $\rho_{\text{потолка}} = 0,7$, отражения стен $\rho_{\text{стен}} = 0,5$, пола $\rho_{\text{пола}} = 0,1$. Расстояние расчетной точки от наружной стены $l = 6$ м, высота рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м.

Решение.

Необходимая площадь окон $S_{\text{окон}}$ вычисляется по формуле

$$S_{\text{окон}} = \frac{e_{\text{н}} \cdot K_{\text{з}} \cdot \eta_{\text{о}} \cdot S_{\text{пола}}}{100 \cdot \tau_{\text{общ}} \cdot \rho_{\text{о}}} \cdot K_{\text{зд}}, \quad (2.32)$$

где e_n – нормированное значение коэффициента естественного освещения КЕО;
 K_3 – коэффициент запаса;
 η_o – значение световой характеристики окон;
 $S_{\text{пола}}$ – площадь пола, м^2 ;
 $\tau_{\text{общ}}$ – общий коэффициент светопропускания окон (принимается равным 0,98);
 $K_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями;
 ρ_o – коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей (принимается равным 1,4).

Определяем значения величин, входящих в расчетную формулу. Определяем значение КЕО:

$$\text{КЕО} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1,1,$$

где 1,5 – значение КЕО для III светового пояса;
 0,9 – коэффициент светового климата;
 0,8 – коэффициент солнечности климата, зависящий от ориентации окон по азимуту и вида организации естественного освещения.

Принимаем коэффициент запаса K_3 равным 1,3 (он определяется периодичностью чистки стекол).

Находим отношение глубины помещения B к высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна h_1 :

$$\frac{B}{h_1} = \frac{9}{2,4} = 3,2.$$

Отношение длины помещения к его глубине

$$\frac{A}{B} = \frac{108}{9} = 12.$$

Световая характеристика окна $\eta = 0,8$.

Подсчитаем площадь потолка (пола):

$$S_{\text{потолка}} = S_{\text{пола}} = 108 \cdot 9 = 972 \text{ м}^2.$$

Поскольку затеняющие здания отсутствуют, коэффициент $K_{\text{зд}}$ принимаем равным 1. Подставляем значения в формулу и определяем площадь окон:

$$S_{\text{окон}} = \frac{1,1 \cdot 1,3 \cdot 8 \cdot 972}{100 \cdot 0,98 \cdot 1,4} \cdot 1 = 118,2 \text{ м}^2.$$

Площадь окон составляет 118,2 м^2 . При размере рамы 1,5×1,7 м площадь одного окна составит 2,55 м^2 , а количество окон соответственно 46 шт.

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Оценить зрительные условия труда (освещение) в заданном помещении при естественном (задача 1а), совмещенном (задача 1б) и искусственном (задача 1в) освещении при выполнении в нем зрительных работ, относящихся (по точности) к 4-му разряду тяжести работ и подразряду «б».

Задача 1а. Освещение – естественное. В помещении ведутся зрительные работы по 4-му разряду тяжести работ. Фактическое значение освещения в помещении – 40 лк, вне помещения – 3000 лк. Определить фактическое и нормативное значение КЕО. Сделать вывод.

Задача 1б. Освещение – совмещенное. Фактическое значение освещения в помещении – 42 лк, вне помещения – 2800 лк. Определить фактическое и нормативное значение КЕО. Сделать вывод.

Задача 1в. Освещение – искусственное. Фактическое значение освещения – 150 лк. Определить нормативное значение освещения. Сделать вывод.

Задача 2. Определить характеристики зрительных работ (разряд, подразряд), которые могут выполняться в помещениях «а», «б» и «в» при естественном, совмещенном и искусственном освещении в соответствии с исходными данными (табл. 2.5). Фактические значения КЕО (для помещений «а» и «б») и значения E (для помещения «в») брать из задач 1а, 1б и 1в соответственно.

Задача 3. Рассчитать общее равномерное искусственное освещение для производственного помещения при следующих условиях (табл. 2.5)

Таблица 2.5

Исходные данные к задаче 3 лабораторной работы №2

Номер варианта/Параметр														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Размеры помещения (длина, ширина, высота), м														
12	10	16	9	14	10	15	13	8	14	16	10	14	15	7
5	6	8	6	8	6	7	10	5	9	8	7	7	7	5
3	4	4	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3
Характеристика зрительной работы (разряд, подразряд)														
Г	IVб	Vв	IV	IVа	IIIг	VI	Vа	IIв	IIIг	IVа	Vб	Vв	IVв	IVг
Содержание в воздушной среде рабочей зоны пыли, дыма и копоти, мг/м ³														
Менее 1	Менее 1	От 1 до 5	Менее 1	Менее 1	Менее 1	Свыше 5	От 1 до 5	Менее 1	Менее 1	Менее 1	Менее 1	От 1 до 5	Менее 1	Менее 1
Коэффициенты отражения поверхностей ($\rho_n, \rho_c, \rho_p, \%$)														
70	50	50	70	50	70	50	70	70	70	50	50	50	70	70
50	30	30	50	30	50	30	50	50	50	30	30	30	50	50
30	10	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10	10	10	30

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды производственного освещения.
2. Дайте сравнительную оценку различным видам освещения (преимущества и недостатки).
3. Какими показателями характеризуется производственное освещение?
4. Назовите системы естественного освещения по конструктивному исполнению.
5. Назовите системы искусственного освещения по конструктивному исполнению и функциональному назначению.
6. Какие виды освещения в зависимости от источников света применяются на производстве?
7. Какие виды искусственного освещения применяются на практике?
8. При каких работах применяется комбинированное искусственное освещение?
9. Какие источники искусственного освещения более предпочтительны: лампы накаливания или газоразрядные лампы? Почему?
10. Основные недостатки газоразрядных ламп низкого давления (люминесцентных).
11. Какой величиной нормируется естественное освещение?
12. Какими количественными характеристиками оценивается естественное освещение?
13. Какими количественными характеристиками оценивается искусственное освещение?
14. Какими количественными характеристиками оценивается совмещенное освещение?
15. Как рассчитывается коэффициент естественной освещенности в производственном помещении с односторонним боковым освещением?
16. К чему сводится проектирование и расчет естественного освещения в производственных помещениях?
17. Какие исходные данные необходимы для определения нормированных значений коэффициента естественной освещенности (КЕО) при естественном производственном освещении?
18. К чему сводится расчет искусственного освещения при системах общего или комбинированного (общее + местное) освещения?
19. Какие методы применяются для расчета необходимого светового потока для обеспечения требуемой освещенности (E_n) на рабочих местах?
20. Что характеризует коэффициент запаса?
21. От чего зависит коэффициент использования светового потока?

Литература

1. Куценко, Г. Ф. Охрана труда в электроэнергетике : практ. пособие / Г. Ф. Куценко. – Минск : Дизайн ПРО, 2005. – 784 с.

2. Михнюк, Т. Ф. Охрана труда : учеб. пособие для студ. уч., обеспеч. получ. высш. обр. по спец. в области радиоэлектроники и информатики / Т. Ф. Михнюк. – Минск : ИВЦ Минфина, 2007. – 320 с.

3. Михнюк, Т. Ф. Охрана труда. Инженерные расчеты по производственной санитарии и безопасности труда : учеб.-метод. пособие / Т. Ф. Михнюк, Д. А. Мельниченко, Е. Н. Зацепин. – Минск : БГУИР, 2014. – 81 с.

4. ГОСТ 24940–2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности».

5. Санитарные нормы и правила «Требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению помещений жилых и общественных зданий», Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности для человека естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений общественных зданий» на основании Постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.06.2012 г. №82.

6. Сокол, Т. С. Охрана труда : учеб. пособие / Т. С. Сокол ; под общ. ред. Н. В. Овчинниковой. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск : Дизайн ПРО, 2006. – 304 с.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОПОРАЖЕНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ И ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Цель работы: оценить роль изоляции фазных проводов относительно земли, провести измерение изоляции между фазами, фазой и землей, оценить эффективность сопротивления заземляющих устройств, зануления, защитного отключения в нормальном и аварийном режимах работы сети.

Приборы и оборудование: программное обеспечение «Лабораторная работа. Оценка опасности электропоражения и эффективности технических способов защиты при использовании трехфазных сетей».

Теоретический материал

В зависимости от режима нейтрали и наличия нулевого провода на практике применяются два вида электрических сетей – трехфазные четырехпроводные с заземленной нейтралью и трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью. Кроме того, в передвижных электроустановках (ЭУ) и устройствах допускается применение четырехпроводных сетей с изолированной нейтралью.

Изолированной называется нейтраль трансформатора или генератора (источника электрической энергии сети), не присоединенная к заземляющему устройству, т. е. не имеющая электрического соединения с землей.

Заземленной называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству через малое сопротивление.

Каждая из применяемых сетей характеризуется различной степенью электробезопасности.

Оценка электробезопасности электрических сетей заключается в измерении или расчете протекающего через тело человека тока I_h (определении напряжения прикосновения $U_{пр}$) и сравнении этих величин с предельно допустимыми в зависимости от продолжительности воздействия тока на человека, оказавшегося под напряжением при одно- или двухфазном прикосновении.

В трехфазных сетях величина тока I_h , зависит от напряжения сети, режима нейтрали и состояния изоляции фазных проводов по отношению к земле [1].

Для трехфазной сети с изолированной нейтралью на рис. 3.1 представлено однофазное прикосновение человека, стоящего на земле (например, при пробое фазы C на корпус электрической установки).

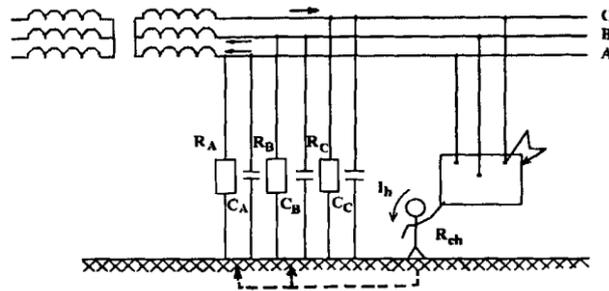


Рис. 3.1. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью

Для трехфазной сети с изолированной нейтралью и при равенстве сопротивлений изоляции фазных проводов по отношению к земле ($Z_A = Z_B = Z_C = Z$) величина тока, проходящего через тело человека, стоящего на земле, при однофазном прикосновении, равна

$$I_h = \frac{3 \cdot U_\phi}{3 \cdot R_{ch} + Z'} \quad (3.1)$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети, В

R_{ch} – сопротивление в цепи тела человека, Ом ($R_{ch} = R_h + R_{об} + R_{пол}$, где R_h – активное сопротивление тела человека (равное 1 кОм при $U_{пр} > 42$ В и 6 кОм при $U_{пр} < 42$ В); $R_{об}$ – сопротивление обуви; $R_{пол}$ – сопротивление покрытия пола. Значения $R_{об}$ и $R_{пол}$ определяются по справочнику или измеряются);

Z – комплексное значение сопротивления изоляции фазных проводов сети по отношению к земле, Ом ($Z = R + 1/j\omega C$, где C – величина электрической емкости между проводами сети и землей, Ф).

Действительное значение тока в общем случае можно определить из выражения

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_{ch} \sqrt{1 + \frac{R(R+6R_{ch})}{9R_{ch}^2(1+R^2\omega^2C^2)}}}, \quad (3.2)$$

где R – активное сопротивление фазных проводов по отношению к земле, Ом ($R = R_A = R_B = R_C$);

C – емкость между фазными проводами и землей, Ф ($C = C_A = C_B = C_C$);

ω – угловая скорость переменного тока, рад/с ($\omega = 2\pi f$, где f – частота, Гц).

Величина емкости сети C относительно земли (для кабельных линий от $0,1 \cdot 10^{-6}$ до $0,4 \cdot 10^{-6}$ Ф/км, для воздушных – $0,005 \cdot 10^{-6}$ Ф/км), возрастает с увеличением протяженности и разветвленности сети. Поэтому в таких сетях величину I_h следует определять по формуле (3.2).

В сетях малой протяженности и неразветвленных можно принимать $C_A = C_B = C_C = 0$, при $R_A = R_B = R_C = R$ выражение (3.2) примет следующий вид:

$$I_h \approx \frac{3 \cdot U_\phi}{3 \cdot R_{ch} + R}. \quad (3.3)$$

Выражения (3.1)–(3.3) показывают, что величина тока, проходящего через тело человека при однофазном прикосновении в сетях с изолированной нейтралью, зависит не только от значения фазного напряжения, сопротивления тела человека, но и от состояния изоляции сети (Z или R) относительно земли. Надежная и качественная изоляция фазных проводов и токоведущих частей электроустановок является, таким образом, одним из основных технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ. Поэтому в сетях напряжением до 1000 В значение этого сопротивления изоляции не должно быть ниже 500 кОм.

В сетях с заземленной нейтралью (рис. 3.2) сопротивление заземления нейтрали r_0 не должно превышать 8 Ом при напряжении сети $U = 230$ В, 4 Ом при $U = 400$ В и 2 Ом при $U = 690$ В.

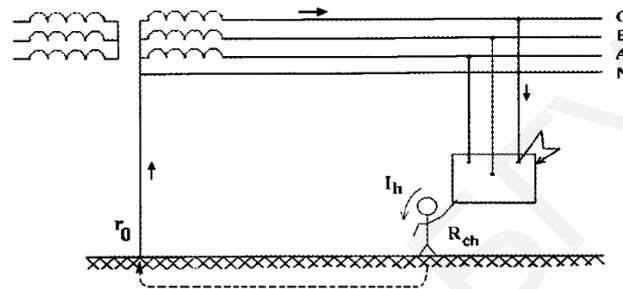


Рис. 3.2. Однофазное прикосновение в сети с заземленной нейтралью

Выражение для тока, проходящего через тело человека при однофазном прикосновении в такой сети, будет иметь вид

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_{ch} + r_0}. \quad (3.4)$$

В выражении (3.4) значением r_0 можно пренебречь, т. к. сопротивление тела человека $R_h \geq r_0$ и ток, проходящий через тело человека, не зависят от сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли. Таким образом, трехфазные сети с заземленной нейтралью опаснее трехфазных сетей с изолированной нейтралью при однофазном прикосновении в период нормальной их работы (выражения (3.3) и (3.4)).

В аварийном режиме, когда имеет место замыкание одной из фаз на землю через малое сопротивление $r_{зм}$ (например, фазы B на рис. 3.3), сеть с изолированной нейтралью оказывается опаснее.

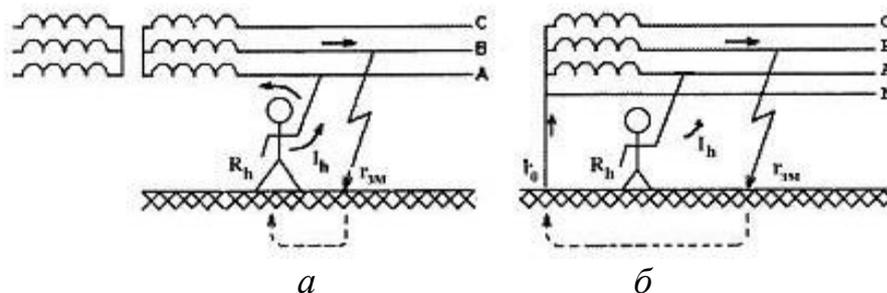


Рис. 3.3. Путь протекания тока при однофазном прикосновении и замыкании на землю другой фазы:

a – в сети с изолированной нейтралью; *б* – в сети с заземленной нейтралью

Как видно из рис. 3.3, *a*, в сети с изолированной нейтралью человек при однофазном прикосновении попадет под линейное напряжение ($U_{\text{пр}} = U_{\text{л}}$). В трехфазной сети с заземленной нейтралью (рис. 3.3, *б*) величина напряжения прикосновения, действующего на человека при прикосновении его к исправной фазе, будет зависеть от соотношения значений сопротивлений $r_{\text{зм}}$ и r_0 . Если принять, что сопротивление замыкания провода на землю $r_{\text{зм}}$ равно нулю, то $U_{\text{пр}} = U_{\text{л}}$. Если же равно нулю сопротивление заземления нейтрали r_0 , то $U_{\text{пр}} = U_{\text{ф}}$.

На практике же $r_{\text{зм}}$ и r_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек при прикосновении его к исправному фазному проводу трехфазной сети с заземленной нейтралью, в аварийном режиме ее работы всегда меньше линейного, но больше фазного, т. е. $U_{\text{л}} > U_{\text{пр}} > U_{\text{ф}}$.

Таким образом, в аварийном режиме работы трехфазные сети с заземленной нейтралью менее опасны, чем сети с изолированной нейтралью. В связи с этим на практике сети с изолированной нейтралью (трехфазные трехпроводные) применяются в тех случаях, когда поддерживается высокий уровень изоляции проводов относительно земли и емкость проводов относительно земли незначительна (т. е. $Z > 500 \text{ кОм}$).

В тех случаях когда невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (например, из-за большой протяженности сети, высокой влажности и т. п.), применяются трехфазные четырехпроводные сети с заземленной нейтралью, которые, кроме того, имеют эксплуатационные преимущества перед трехпроводными, т. к. позволяют использовать два рабочих напряжения – линейное и фазное (400 и 230 В сети напряжением 400/230 В). Поэтому трехфазные четырехпроводные сети с заземленной нейтралью получили наибольшее применение на практике [2].

Оценка опасности возможного электропоражения при эксплуатации потребителей электрической энергии заключается в сравнении максимально возможных токов электропоражения, полученных с помощью измерения или расчета, с предельно допустимыми их значениями.

Предельно допустимые напряжения прикосновения ($U_{пр}$) и токи, проходящие через человека ($I_{h\text{ пд}}$) при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Предельно допустимые напряжения прикосновения ($U_{пр}$) и токи, проходящие через человека ($I_{h\text{ пд}}$) при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки

Род и частота тока	Предельно допустимые значения	
	$U_{пр}$, В	$I_{h\text{ пд}}$, мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Постоянный	8	1,0

Предельно допустимые напряжения прикосновения ($U_{пр}$) и токи, проходящие через человека ($I_{h\text{ пд}}$) при аварийном режиме работы электроустановки (замыкании электропитания на корпус установки), приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Предельно допустимые напряжения прикосновения ($U_{пр}$) и токи, проходящие через человека ($I_{h\text{ пд}}$) при аварийном режиме работы электроустановки

Род и частота тока	Предельно допустимые значения при продолжительности воздействия более 1 с	
	$U_{пр}$, В	$I_{h\text{ пд}}$, мА
Переменный, 50 Гц	42	6
Постоянный	50	15

Оценка опасности позволяет определить необходимость применения способов и средств защиты, а возможные (или фактические) и предельно допустимые значения тока, проходящего через тело человека, и напряжения прикосновения служат исходными данными для их выбора, проектирования и расчета [2].

Для обеспечения безопасной эксплуатации электроустановок применяются следующие технические способы защиты: защитное заземление, зануление, защитное отключение и др.

Для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения персонала к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям ЭУ, оказавшимся под напряжением, наряду с другими мерами защиты в сетях с изолированной нейтралью широко применяется *защитное заземление*, представляющее собой преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением, с землей посредством заземляющего устройства. Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения прикосновения в результате уменьшения потенциала на корпусе заземленного электрооборудования за счет малого сопротивления заземляющего устройства и выравнивания потенциалов на заземленных частях электроустановки и основания, на котором стоит человек, вследствие образования потенциала на основании до значения, близкого к потенциалу заземленных частей оборудования.

Таким образом, напряжение заземленного корпуса относительно земли определяется выражением $U_k = I_3 R_3$, где I_3 – величина тока, протекающего через заземлитель, R_3 – сопротивление заземлителя. Образование потенциалов на поверхности земли вокруг заземлителя обусловлено стеканием тока в землю через заземлитель, его растеканием в грунте и замыканием через сопротивление изоляции на две другие фазы (в трехфазных сетях). Потенциал на поверхности земли (основании) вокруг заземлителя в зависимости от расстояния до него изменяется по гиперболическому закону, уменьшаясь от своего максимального значения на заземлителе практически до нуля (рис. 3.4).

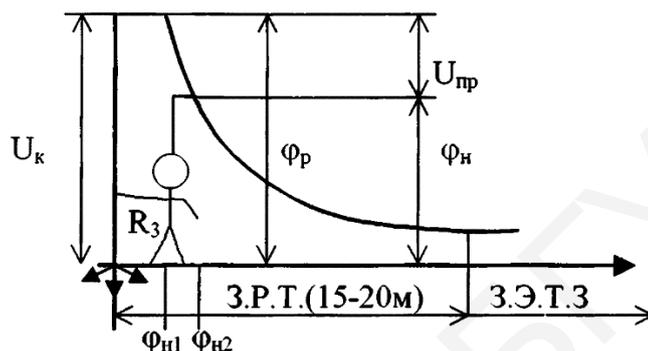


Рис. 3.4. Изменение потенциала на поверхности грунта вокруг заземлителя в зависимости от расстояния

На рис. 3.4 φ_p – потенциал рук; φ_n – потенциал ног; $U_{пр}$ – напряжение прикосновения; ЗРТ – зона растекания тока; ЗЭТЗ – зона электротехнической земли.

При прикосновении к поврежденной и заземленной ЭУ человек оказывается под действием напряжения прикосновения $U_{пр}$, которое определяется разностью потенциалов крайних точек электрической цепи через тело человека, обычно «рука – ноги», т. е.

$$U_{пр} = \varphi_p - \varphi_n = \varphi_p \left(1 - \frac{\varphi_n}{\varphi_p}\right) = \varphi_p \alpha_1 = I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha_i, \quad (3.5)$$

где α_i – коэффициент напряжения прикосновения.

Величина α_i изменяется от нуля при $\varphi_p = \varphi_n$ и до единицы при $\varphi_n = 0$ (при нахождении человека в зоне электротехнической земли).

Определенную опасность для человека может представлять также разность потенциалов между отдельными точками на поверхности поля растекания тока. Напряжение между точками, находящимися одна от другой на расстоянии шага (см. рис. 3.4), называется напряжением шага $U_{ш}$ и равно

$$U_{ш} = \varphi_{н1} - \varphi_{н2} = I_3 \cdot U_3 \cdot \beta_i, \quad (3.6)$$

где β_i – коэффициент напряжения шага.

Для обеспечения электробезопасности сопротивление заземляющего устройства R_3 необходимо поддерживать достаточно малым, это означает, что оно не должно превышать 4 Ом в сетях напряжением до 1000 В и 10 Ом – при мощности

сети менее 100 кВ·А. Тогда напряжение прикосновения не превысит допустимого значения в 42 В при длительности воздействия более 1 с.

Требуемое значение R_3 можно обеспечить следующими способами:

- путем использования не одного, а нескольких заземлителей, соединенных параллельно;
- правильным выбором расстояния между заземлителями и их взаимным расположением;
- размещением заземляющего устройства в грунтах с достаточно малым значением удельного сопротивления ρ .

Заземление электроустановок следует выполнять в следующих случаях [2]:

- при напряжениях 400 и 440 В и выше соответственно переменного и постоянного токов;
- при номинальных напряжениях, равных 42 В и выше переменного, 110 В и выше постоянного тока в помещениях с повышенной и особой опасностью и в наружных электроустановках;
- во взрывоопасных помещениях при всех величинах напряжений переменного и постоянного токов.

Для устранения опасности поражения работающих электрическим током при прикосновении к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания фазного провода на корпус в сетях с заземленной нейтралью, наряду с другими мерами применяется *зануление*.

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение корпусов оборудования и других металлических нетоковедущих его частей, которые могут оказаться под напряжением, с неоднократно заземленным защитным проводником сети (рис. 3.5). В трехфазных четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью в качестве такого проводника служит заземленная нейтраль сети (нулевой защитный проводник).

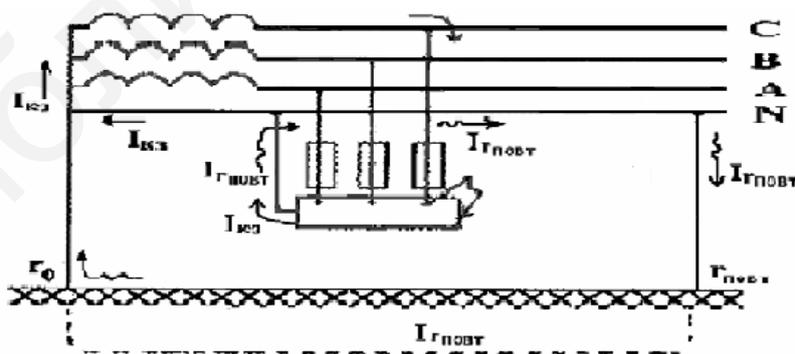


Рис. 3.5. Принципиальная схема зануления

Принцип действия зануления основан на превращении замыкания на корпус электроустановки в однофазное короткое замыкание с целью появления большого тока, способного обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети. Заземление корпусов ЭУ через нулевой защитный проводник посредством повторного заземления снижает

также их напряжение относительно земли, до срабатывания защиты и отключения установки от сети.

В качестве защиты при занулении могут применяться плавкие предохранители, магнитные пускатели с тепловой защитой, автоматы с расцепителями, осуществляющие защиту от токов короткого замыкания и перегрузок.

Зануление как защитная мера применяется в трехфазных четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью, в двухпроводных сетях переменного тока с заземленным выводом или в сетях постоянного тока при заземленной средней точке источника или полюса.

Применение в этих случаях защитного заземления неэффективно, т. к. оно не уменьшает напряжение корпуса ЭУ, находящегося в контакте с токоведущими частями (фазным проводом), до безопасной величины. В сети 400/230 В с заземленной нейтралью напряжение на корпусе заземленной ЭУ U_k при нормативных значениях сопротивления нейтрали $r_0 = 4$ Ом и заземления $R_3 = 4$ Ом будет равно

$$U_k = I_3 \cdot R_3 = \frac{U_\phi}{r_0 + R_3} R_3 = \frac{230}{4+4} 4 = 115 \text{ В}, \quad (3.7)$$

что опасно для жизни, т. к. $U_{пр}$ при $t > 1$ с не должно превышать 42 В (50 Гц).

Назначение нулевого защитного проводника сети состоит в обеспечении необходимого для отключения установки достаточного значения тока короткого замыкания $I_{кз}$ путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением.

Заземление нейтрали (источника напряжения) предназначено для снижения напряжения зануленных корпусов относительно земли в аварийном режиме работы сети, т. е. при замыкании одной из фаз на землю (рис. 3.6).

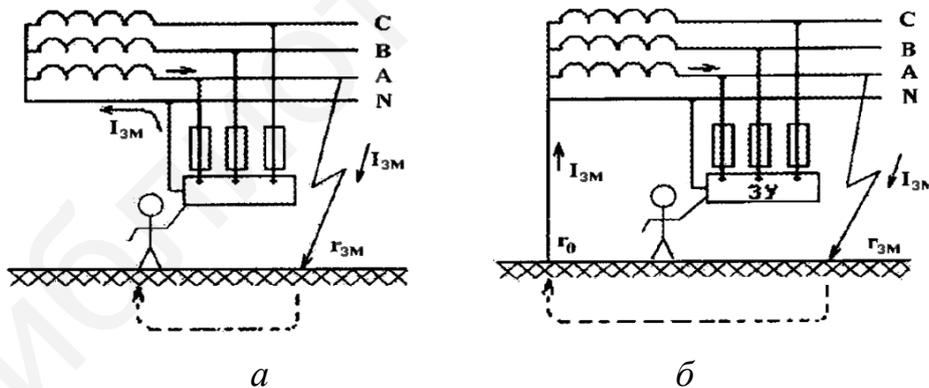


Рис. 3.6. Замыкание фазы на землю в трехфазной четырехпроводной сети с изолированной (а) и заземленной (б) нейтралью

Как видно из рис. 3.6, а, в аварийной сети с изолированной нейтралью напряжение, действующее на человека (напряжение прикосновения), практически будет равно фазному напряжению ($U_{пр} = U_\phi$), а в сети с заземленной нейтралью (рис. 3.6, б) оно снизится до значения $U_{пр} = I_3 r_0$, уменьшая этим опасность прикосновения к зануленному корпусу:

$$U_{пр} = U_k \cdot \alpha_1 = I_{r_{повт}} \cdot r_{повт} \cdot \alpha_1 = \frac{U_\phi}{r_0 + r_{повт}} r_{повт} \cdot \alpha_1. \quad (3.8)$$

При возможном обрыве нулевого защитного проводника и не срабатывании зануления, его повторное заземление ($r_{\text{повт}}$) обеспечит значительное снижение напряжения прикосновения (рис. 3.7).

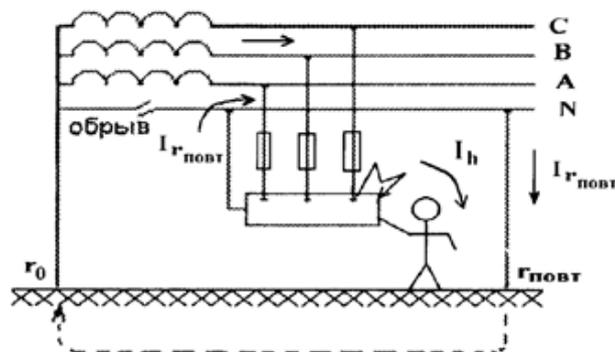


Рис. 3.7. Замыкание на корпус при обрыве нулевого защитного провода

Для надежной работы зануления предъявляются следующие требования:

а) значение тока однофазного короткого замыкания на зануленный корпус электроустановки должно удовлетворять условию

$$I_{\text{кз}} \geq k \cdot I_n, \quad (3.9)$$

где I_n – номинальный ток перегорания плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автоматического выключателя, А;

k – коэффициент кратности тока, принимается равным 3 при защите электроустановки плавким предохранителем (4 – во взрывоопасных помещениях); если защита осуществляется автоматическим выключателем с номинальным током до 100 А, $k = 1,4$. Для прочих автоматов $k = 1,25$;

б) сечение и материал нулевого защитного провода выбираются исходя из условия, что его проводимость должна составлять не менее 50 % проводимости фазного провода, т. е. $R_n < 2R_f$;

в) для обеспечения непрерывности цепи зануления запрещается вставлять в нулевой провод предохранители или выключатели. Исключения допускаются в том случае, если выключатель вместе с нулевым проводом размыкает и все фазные провода;

г) для воздушных линий повторное заземление нулевого провода должно выполняться через каждые 250 м и на концах ответвлений длиной 200 м и более;

д) зануление должно осуществляться специальным проводником, который не может служить одновременно проводником рабочего тока (например, однофазных потребителей);

е) сопротивление повторных заземлений должно быть не более 20 Ом при $U_n = 230$ В, 10 Ом при 400 В, 5 Ом при 690 В.

Для надежной работы зануления необходимо осуществлять контроль его исправности. Зануление проверяется при вводе электроустановок в эксплуатацию, пе-

риодически (не реже одного раза в пять лет) и после ремонта. Для проверки соответствия зануления требованиям безопасности необходимо замерять сопротивление заземления нейтрали, сопротивление повторных заземлений, целостность зануляющей цепи, а также сопротивление петли «фаза – нуль». Измерение сопротивления петли «фаза – нуль» проводится с целью определения истинного значения полного сопротивления цепи однофазного замыкания, которое должно быть таким, чтобы ток $I_{кз}$ был достаточным для отключения поврежденной установки от сети:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{Z_{тр} + Z_{п}}, \quad (3.10)$$

где $Z_{тр}$ – сопротивление трансформатора сети (источника энергии);

$Z_{п}$ – сопротивление петли «фаза – нуль».

Величина сопротивления $Z_{п}$ может быть определена из следующего выражения:

$$Z_{п} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{н})^2 + (X_{\phi} + X_{н} + X_{п})^2}, \quad (3.11)$$

где R_{ϕ} , $R_{н}$ – активные сопротивления фазного и нулевого проводов соответственно;

X_{ϕ} , $X_{н}$ – индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводов;

$X_{п}$ – внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза – нуль».

Для измерения сопротивления можно использовать схему вольтметра-амперметра, представленную на рис. 3.8.

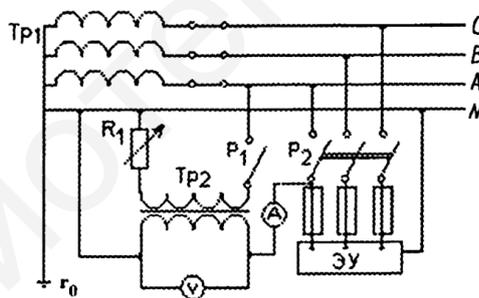


Рис. 3.8. Схема измерения сопротивления петли «фаза – нуль»

Для измерения сопротивления $Z_{п}$ необходимо один вывод вторичной обмотки понижающего трансформатора присоединить к нулевому защитному проводнику, другой – к одному из фазных проводов, идущих к электроустановке после выключателя, который при этом должен быть отключен. Искомое сопротивление определяется как частное от деления этих показаний [3]:

$$Z_{п} = \frac{U_{изм}}{I_{изм}} \text{ (Ом)}. \quad (3.12)$$

Защитное отключение – это такой вид быстродействующей защиты, который обеспечивает автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током (например, при замыкании

фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети ниже определенного значения, при прикосновении человека непосредственно к токоведущим частям, при переходе напряжения с высшей стороны трансформатора на низшую).

Поврежденная ЭУ и нарушение нормального режима работы сети приводят к изменениям электрических параметров установки или сети, которые могут быть использованы как входные величины для срабатывания устройств защитного отключения (УЗО).

В зависимости от того, что является входной величиной (уставкой), на изменение которой реагирует схема отключения, применяют следующие типы УЗО: на напряжении корпуса относительно земли; на токе замыкания на землю; на токе нулевой последовательности и др.

УЗО должны удовлетворять высокой чувствительности, малому времени отключения, избирательности действия, т. е. способности осуществлять самоконтроль исправности и надежности.

Применение УЗО практически не ограничено, т. е. они могут применяться в сетях любого напряжения постоянного и переменного токов, трехфазных сетях с любым режимом нейтрали. Особенно рациональной мерой защиты защитное отключение является в передвижных электроустановках, в условиях, когда по каким-либо причинам трудно осуществить защитное заземление или зануление, а также при использовании ручного электроинструмента [3].

На рис. 3.9 представлены две схемы УЗО – на напряжении корпуса относительно земли и на токе замыкания на землю.

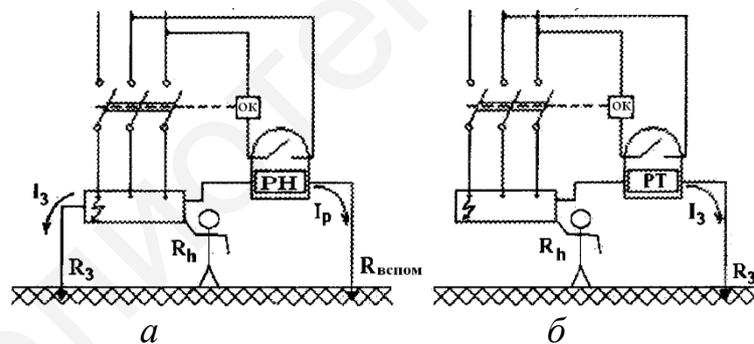


Рис. 3.9. Принципиальные схемы УЗО:

a – реагирующие на напряжение корпуса относительно земли;

б – реагирующие на ток замыкания на землю

Датчиком в схеме УЗО на напряжении корпуса относительно земли (см. рис. 3.9, *a*) служит реле максимального напряжения, включенное между защищаемым корпусом и вспомогательным заземлителем $R_{\text{вспом}}$. При пробое фазы на корпус напряжение на нем относительно земли снизится до значения $U_k = I_3 R_3$ (вследствие наличия защитного заземления).

Если величина U_k будет равна или превысит допустимое значение напряжения прикосновения ($U_k > U_{\text{пд}}$), срабатывает УЗО, и поврежденная установка отключается от сети.

В данной схеме уставкой является допустимое значение напряжения прикосновения $U_{\text{пд}}$. Напряжение срабатывания реле максимального напряжения $U_{\text{ср}}$ можно определить из выражения

$$U_{\text{ср}} = I_{\text{р}} \cdot Z_{\text{р}} = \frac{U_{\text{пд}}}{Z_{\text{р}} + R_{\text{вспом}}} Z_{\text{р}} \text{ (В)}, \quad (3.13)$$

где $Z_{\text{р}}$ – полное сопротивление реле, Ом;

$I_{\text{р}}$ – ток реле, А.

При расчете сопротивления вспомогательного заземлителя необходимо учитывать оптимальное соотношение $Z_{\text{р}}/Z_{\text{вспом}} = 6/7$.

Эта схема УЗО может применяться в сетях любого напряжения как дополнительная мера к защитному заземлению, когда оно малонадежно или недостаточно эффективно. Достоинством этой схемы является ее простота, а основными недостатками – необходимость вспомогательного заземления, отсутствие селективности отключения при присоединении к одному заземлителю нескольких электроустановок.

Принцип действия УЗО на токе замыкания на землю (см. рис. 3.9, б) заключается в отключении поврежденной установки от сети, если ток, проходящий через заземляющий проводник, превысит $I_{\text{уст}}$, при котором напряжение прикосновения имеет допустимое значение. Датчиком здесь служит реле тока (РТ), включенное непосредственно в заземляющий провод и обладающее малым сопротивлением. При замыкании фазы на корпус ток $I_{\text{з}}$, если он превышает величину тока уставки ($I_{\text{уст}}$), вызывает срабатывание реле и ЭУ отключается от сети.

Величина тока уставки определяется из выражения

$$I_{\text{уст}} = \frac{U_{\text{пд}}}{Z_{\text{р}} + R_{\text{з}}}, \quad (3.14)$$

где $U_{\text{пд}}$ – величина допустимого напряжения прикосновения, зависящая от времени срабатывания РТ [3];

$Z_{\text{р}}$ – полное сопротивление РТ;

$R_{\text{з}}$ – сопротивление заземлителя, Ом.

Эта схема УЗО может применяться как дополнительная мера защиты к защитному заземлению или занулению.

Для определения соответствия заземляющего устройства требованиям безопасности необходимо проводить измерение его сопротивления после монтажа, при комплексном ремонте электроустановок, а также периодически – через три года на подстанциях потребителей и через год в цеховых электроустановках. Измерение сопротивления заземляющего устройства $R_{\text{з}}$ осуществляется различными методами, наиболее простым из которых является метод амперметра-вольтметра. В данной лабораторной работе для измерения $R_{\text{з}}$ применяется измеритель М-416. Инструкция по его эксплуатации изложена на внутренней стороне крышки прибора, а схема измерения сопротивления заземления показана на рис. 3.10 [3]. Величина сопротивления изоляции в электроустановках напряжением до 1000 В должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.3.

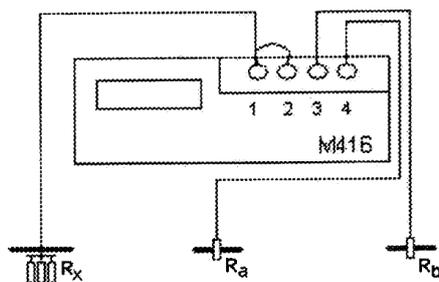


Рис. 3.10. Схема измерения сопротивления заземления измерителем М-416

Таблица 3.3

Значения допустимого сопротивления изоляции

Наименование электрооборудования	Значение допустимого сопротивления изоляции, МОм	Испытательное напряжение, В
Силовые и осветительные электропроводки, обмотки статора электродвигателя переменного тока и др.	1	1000
Вторичные цепи управления, защиты, измерения, сигнализации в релейно-контактных схемах	0,5	500–1000
Вторичные обмотки измерительных трансформаторов с присоединенными к ним цепями и комплектных распределительных устройств	1	500–1000

Необходимость систематических измерений сопротивления изоляции обусловлена изменением ее диэлектрических свойств под влиянием возможных механических повреждений, термических воздействий, увлажнения, химически активных загрязнений воздушной среды и др. Измерения проводят между каждым проводом и землей, а также между двумя любыми проводами на участках, разделенных двумя смежными предохранителями, после полного отключения электропроводов и всех электроустановок и снятия остаточных емкостных зарядов с их токоведущих частей. Для измерения сопротивления изоляции используют мегаомметры, которые выпускаются на напряжения 500, 1000 и 2500 В. Мегаомметр М1101 имеет три зажима Л (линия), З (земля), Э (экран). Схема измерения сопротивления изоляции между фазными проводами и землей показана на рис. 3.11.

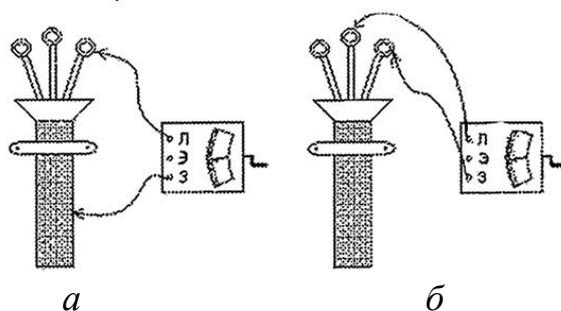


Рис. 3.11. Схема измерения сопротивления изоляции мегаомметром [3]:
а – между проводом и землей (корпусом); *б* – между фазными проводами

Выполнение лабораторной работы

Оценка опасности электропоражения при использовании трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью.

Ход работы:

1. Определить зависимость тока, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к незаземленному корпусу поврежденной ЭУ, от величины активной и емкостной составляющих сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли и величины сопротивления изоляции фазного провода, замкнувшегося на корпус установки (см. рис. 3.1).

Для этого с помощью переключки замкнуть фазу C на корпус установки. Пользуясь соответствующими переключателями, установить требуемые параметры сети, а через миллиамперметр подключить изображение тела человека к корпусу установки.

Измерить и занести в табл. 3.4. величину тока, проходящего через тело человека, при указанных условиях.

Таблица 3.4

Результаты измерений величины тока при использовании трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью

№ п/п	R_A , кОм	R_B , кОм	R_C , кОм	C , мкФ	Величина I_h (мА) при незаземленном корпусе ($R_3 = \infty$)
1	5	5	5	0	
2	50	50	50	0	
3	100	100	100	0	
4	500	500	500	0	
5	500	500	500	0,5	
6	500	500	500	2,5	
7	500	500	100	0	
8	500	500	50	0	
9	500	500	5	0	
10	5	5	5	2,5	

2. Произвести необходимые измерения мегаомметром и оценить состояние изоляции токоведущих частей ЭУ относительно друг друга и земли (заземленного корпуса с $R_3 = 4$ Ом) и на исследуемом участке сети согласно нормативным требованиям. Результаты измерений занести в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Результаты измерений величины сопротивления 1

№ п/п	Место и условия измерения сопротивления изоляции при отключенной установке и сети	Величина сопротивления изоляции R , кОм		Вывод
		фактическая	требуемая	
1	Точка A относительно корпуса		≥ 500	
2	Точка B относительно корпуса		≥ 500	
3	Точка C относительно корпуса		≥ 500	
4	Фаза A относительно земли		≥ 500	
5	Фаза B относительно земли		≥ 500	
6	Фаза C относительно земли		≥ 500	
7	Межфазное сопротивление $A-B$		≥ 500	
8	Межфазное сопротивление $B-C$		≥ 500	
9	Межфазное сопротивление $C-A$		≥ 500	

3. Исследовать зависимость тока I_h при прикосновении к заземленному корпусу поврежденной электроустановки от величины сопротивления заземляющего устройства R_3 .

Для этого подключить изображение тела человека к корпусу установки, измерить и занести в табл. 3.6 значение тока I_h в случаях, указанных в этой таблице.

Таблица 3.6

Результаты измерений величины тока

№ п/п	R_A , кОм	R_B , кОм	R_C , кОм	C , МкФ	Величина I_h при заземленном корпусе		
					$R_3 = 4$ Ом	$R_3 = 10$ Ом	$R_3 = 100$ Ом
1	5	5	5	0			
2	500	500	500	2,5			
3	5	5	5	2,5			

4. Произвести контрольные измерения величины сопротивления заземляющих устройств с помощью прибора М-416 по методике, указанной в инструкции по эксплуатации прибора. Результаты измерений занести в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Результаты измерений величины сопротивления 2

Величина сопротивления R_3 заземлителя, Ом		Вывод
измеренная	нормативная	
	4	
	10	

5. Произвести анализ полученных данных и построить графики зависимостей:

- 1) $I_h = f(R)$ при $R_A = R_B = R_C = R$ и $C = 0$;
- 2) $I_h = f(C)$ при $R = 500$ кОм;
- 3) $I_h = f(R_C)$ при $R_A = R_B = 500$ кОм, $C = 0$;
- 4) $I_h = f(R_3)$.

Здесь R_C – сопротивление изоляции фазы C , которая при эксперименте замыкается на корпус установки; R – сопротивление изоляции фазных проводов относительно земли; C – электрическая емкость фазных проводов относительно земли; R_3 – сопротивление защитного заземления электроустановки.

6. Составить письменный отчет, в котором представить принципиальную схему исследуемой сети, таблицы с результатами измерений, необходимые графики и письменные выводы о результатах выполненных измерений и исследований.

Исследование эффективности технических способов защиты от электропоражения в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью.

Ход работы:

1. Изучить назначение элементов и электрическую схему трехфазной сети с различным режимом нейтрали в нормальном и аварийном режимах работы сети, исследовать электробезопасность трехфазных сетей с различным режимом нейтрали и эффективность различных технических способов защиты.

2. Определить опасность прикосновения человека к корпусу поврежденной установки (при замыкании фазного провода на корпус), питающейся от трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью и трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при нормальном и аварийном режимах работы сетей (см. рис. 3.1–3.3). Степень опасности поражения электрическим током определяется величиной тока, протекающего через тело человека (I_h).

Результаты занести в табл. 3.8 (обозначения Н и А соответствуют нормальному и аварийному режимам работы сети).

Таблица 3.8

Величины тока при нормальном и аварийном режимах работы сетей

Режим работы сети	Величина тока I_h (мА) при прикосновении человека к корпусу поврежденной установки		Выводы
	Режим нейтрали трехфазной сети		
	изолированная	заземленная	
Н			
А			

3. На основании результатов сделать выводы:

а) о степени опасности трехфазных сетей в нормальном и аварийном режимах;
 б) о роли режима нейтрали (заземленная, изолированная от земли) как в нормальном, так и в аварийном режимах работы сетей.

4. Определить эффективность действия защитного заземления и зануления в трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при пробое фазы на корпус установки и появлении в результате этого реальной опасности поражения персонала электрическим током.

Результаты исследования занести в табл. 3.9 и сделать вывод об эффективности того или иного способа защиты в данной трехфазной сети.

Таблица 3.9

Результаты измерений величины тока при исследовании эффективности защитного действия зануления

Величина тока I_h (мА) при прикосновении человека к корпусу поврежденной установки		Выводы
установка заземлена	установка занулена	

5. Определить эффективность защитного действия зануления в следующих случаях:

а) при заземленной и изолированной от земли нейтрали в аварийном режиме работы сети (т. е. при замыкании одной из фаз на землю, тумблер S_{11}) без пробоя фазного провода на корпус электроустановки (см. рис. 3.6);

б) при наличии и отсутствии повторного заземления нулевого защитного провода в случае обрыва последнего в четырехпроводной сети с заземленной нейтралью и при пробое фазного провода на корпус электроустановки (см. рис. 3.7).

Полученные данные занести в табл. 3.10 и сделать вывод о роли заземления нейтрали источника и повторного заземления нулевого защитного провода при занулении.

Таблица 3.10

Результаты измерений величины тока при заземленной и изолированной от земли нейтрали в аварийном режиме работы сети

Режим работы сети и электроустановки	Величина тока I_h (мА) при прикосновении человека к корпусу установки	Выводы
Аварийный режим работы сети (одна из фаз замкнута на землю), установка не повреждена: а) нейтраль заземлена; б) нейтраль изолирована от земли. Обрыв нулевого провода сети, пробой фазы на корпус установки: а) наличие повторного заземления нулевого провода; б) отсутствие повторного заземления нулевого провода		

6. Проверить надежность работы зануления, т. е. соответствие величины тока однофазного короткого замыкания $I_{кз}$ (при пробое фазы на корпус) условию $I_{кз} > kI_n$. Величина $I_{кз}$ определяется по формуле (3.10), а Z_n измеряется по схеме вольтметра-амперметра (см. рис. 3.8). Сопротивление трансформатора принять равным $Z_{тр} = 30$ Ом. Так как в данном случае в качестве защиты применяется автоматический выключатель с номинальным током $I_n = 4,5$ А (т. е. до 100 А), то $k = 1,4$. Полученные данные занести в табл. 3.11 и сделать вывод о надежности работы зануления.

Таблица 3.11

Результаты проверки надежности зануления

Z_n , Ом	$I_{кз}$, А	kI_n , А	Выводы

7. Составить письменный отчет, в котором представить:

- а) принципиальные схемы исследования по всем пунктам;
- б) табл. 3.8–3.11 с результатами исследования и выводами по ним.

8. На основании результатов исследований сделать выводы:

а) о степени опасности трехфазных сетей в нормальном и аварийном режимах работы;

б) о роли режима нейтрали (заземленная, изолированная от земли) как в нормальном, так и в аварийном режимах работы сети.

9. Исследовать эффективность действия каждого из предложенных средств защиты: защитного заземления или зануления, в трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при пробое фазы на корпус ЭУ и появлении в результате этого реальной опасности поражения персонала электрическим током.

Результаты исследования занести в табл. 3.12 и сделать вывод об эффективности того или иного способа защиты в трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью.

Таблица 3.12

Результаты исследования эффективности действия средств защиты в трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью

Величина тока I_h (мА) при прикосновении человека к корпусу поврежденной установки		Выводы
установка заземлена	установка занулена	

10. Исследовать эффективность защитного действия зануления:

а) при заземленной и изолированной от земли нейтрали в аварийном режиме работы сети (т. е. при замыкании одной из фаз на землю) без пробоя фазного провода на корпус ЭУ (см. рис. 3.6);

б) при наличии и отсутствии повторного заземления нулевого защитного провода в случае обрыва последнего в четырехпроводной сети с заземленной нейтралью и при пробое фазного провода на корпус ЭУ (см. рис. 3.7).

Полученные данные занести в табл. 3.13 и сделать вывод о роли заземления нейтрали источника электрической энергии и повторного заземления нулевого защитного провода в четырехпроводной сети.

Результаты исследования эффективности защитного действия зануления

Режим работы сети и электроустановки	Величина тока I_h (мА) при прикосновении человека к корпусу установки	Выводы
Аварийный режим работы сети (одна из фаз замкнута на землю), установка не повреждена: а) нейтраль заземлена; б) нейтраль изолирована от земли. Обрыв нулевого провода сети, пробой фазы на корпус установки: а) наличие повторного заземления нулевого провода; б) отсутствие повторного заземления нулевого провода		

Примеры решения задач

Задача 1. Определить эффективность действия УЗО на токе замыкания на землю (см. рис. 3.9) в зависимости от технических характеристик реле тока, $Z_p = 0,5$ Ом, время срабатывания реле $t = 0,1$ с.

Решение.

Для определения эффективности действия УЗО на токе замыкания на землю требуется найти величину тока уставки $I_{уст}$, при которой срабатывает УЗО. Используя выражение (3.14), рассчитаем величину $I_3(I_{уст})$, при которой должно сработать УЗО для обеспечения безопасности при пробое фазы на корпус.

Для определения предельно допустимого напряжения прикосновения $U_{пд}$ от продолжительности воздействия можно использовать выражение $U_{пд} \approx 50/t$.

По условию дано, что $Z_p = 0,5$ Ом, время срабатывания реле $t = 0,1$ с. При нормативных значениях сопротивления заземления $R_3 = 4$ Ом (см. табл. 3.7) величина тока уставки будет равна

$$I_{уст} = \frac{U_{пд}}{Z_p + R_3} = \frac{500}{0,5 + 4} = 111,11 \text{ (А)}.$$

Таким образом, необходимая величина тока уставки, при которой должно сработать УЗО для обеспечения безопасности работающих, составляет 111,11 А.

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Определить эффективность УЗО на токе замыкания на землю (см. рис. 3.9). Величину предельно допустимого напряжения прикосновения в зависимости от времени срабатывания РТ выбрать из табл. 3.14.

Величины предельно допустимого напряжения прикосновения

Род тока и частота тока	Нормируемая величина	Наибольшие допустимые значения при продолжительности воздействия, с										
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	>1
Переменный 50 Гц	$U_{пр}$, В	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
	I_h , мА	500	250	196	125	100	85	70	65	55	50	6

Задача 2. На основании полученных данных из задачи 1 сделать выводы относительно надежности УЗО и его эффективности.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на опасность поражения человека электрическим током?
2. Какие типы трехфазных сетей преимущественно применяются на производстве, в общественных и жилых зданиях?
3. Какие факторы влияют на сопротивление изоляции? Каковы его нормативные значения?
4. В чем состоит принцип защитного заземления?
5. Каковы значения нормативных сопротивлений защитного заземления?
6. Что такое поле растекания тока, напряжение прикосновения и напряжение шага? Как рассчитать их значения?
7. Опишите методики измерения сопротивления защитного заземления и сопротивления изоляции.
8. Какие основные технические способы и средства используются в электроустановках для обеспечения электробезопасности?
9. Какая трехфазная сеть более безопасна в нормальном и аварийном режимах работы и почему?
10. В чем заключается принцип работы зануления, и в каких сетях оно применяется?
11. Каково назначение нулевого защитного проводника и повторного его заземления в трехфазных четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью?
12. Почему в сетях с заземленной нейтралью нельзя применять защитное заземление?
13. В чем заключается принцип действия защитного отключения и какова область его применения?
14. Что является установкой в УЗО на напряжении корпуса относительно земли и на токе замыкания на землю?
15. Каковы преимущества УЗО перед другими техническими способами обеспечения электробезопасности?
16. Укажите назначение заземления нейтрали в трехфазных четырехпроводных сетях и нормативное значение его сопротивления.

Литература

1. ТКП 339-2011. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний.

2. ТКП 181-2009. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

3. Михнюк, Т. Ф. Охрана труда / Т. Ф. Михнюк. – Минск : ИВЦ Минфина, 2007. – 320 с.

4. Михнюк, Т. Ф. Защита от поражения электрическим током. Лабораторный практикум по курсу «Охрана труда» / Т. Ф. Михнюк. – Минск : БГУИР, 2007. – 31 с.

Лабораторная работа №4

СРЕДСТВА ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Цель работы: изучить методы и средства пожарной сигнализации и пожаротушения, определить температуру вспышки огнеопасных жидкостей, полученные данные использовать для определения категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.

Приборы и оборудование: установка ПТВ-1.

Теоретический материал

Большинство промышленных предприятий отличаются повышенной пожарной опасностью, т. к. их характеризуют сложность производственных процессов и установок, наличие значительного количества огнеопасных жидкостей, горючих газов, твердых сгораемых материалов, большого количества емкостей и аппаратов, в которых находятся пожароопасные продукты под давлением, разветвленной сети трубопроводов с запорно-пусковой и регулирующей арматурой, большого количества электроустановок.

Пожар – это процесс неконтролируемого горения, наносящий материальный ущерб. Все причины возникновения пожаров можно условно разделить на причины электрического и неэлектрического характера. К причинам *электрического характера* относятся: искрение и нагрев контактных соединений с большим переходным сопротивлением; токи коротких замыканий и значительные электрические перегрузки проводов и обмоток трансформаторов; электрические разряды; удары молний и др. Причинами пожаров *неэлектрического характера* могут быть: неосторожное обращение с огнем при проведении газосварочных работ; неправильное использование паяльников при проведении монтажа радиоэлектронного оборудования; неисправность производственного оборудования или нарушение технологического процесса, что может вызвать повышенное выделение горючих газов и паров или пыли в воздушную среду производственных помещений; самовоспламенение и самовозгорание некоторых материалов; применение пропиточных компаундов и лакокрасочных материалов, содержащих в качестве растворителей легковоспламеняющиеся и горючие жидкости (ЛВЖ и ГЖ), и т. д. Пожарная опасность современных радиоэлектронных устройств обусловлена высокой плотностью монтажа радиоэлементов, что приводит к повышению температуры отдельных узлов (до 80 °С и более), широким применением горючих электроизоляционных материалов.

Основным условием для осуществления процесса горения является наличие вещества, способного к горению (горючего) и окислителя. При пожарах могут гореть твердые, жидкие и газообразные вещества, которые широко используются в производстве и быту. Горючая среда представляет собой совокупность веществ, материалов, оборудования и конструкций, способных гореть. Наличие горючей среды

(ее количество и пожароопасные свойства) – основной показатель пожароопасности здания, сооружения, оборудования, объекта в целом.

Горючая среда в реальных производственных условиях может включать:

- горючие элементы несущих, ограждающих и других конструкций;
- горючую отделку (наружную и внутреннюю) объекта;
- горючие элементы технологического оборудования, сырье и готовую продукцию, топливо и смазочные материалы;
- мебель, товарно-материальные ценности и т. д.;
- вспомогательные коммуникации и инженерное оборудование (воздуховоды, транспортеры, электрооборудование, подающие и питающие линии и т. д.).

При оценке пожарной опасности необходимо знать, какие огнеопасные вещества или смеси используются, получают или могут образовываться в процессе производства. Более высокую категорию пожарной опасности имеют предприятия с наличием веществ, способных образовывать взрывоопасные смеси с воздухом (горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости, пылевидные горючие материалы).

Показатели пожаро- и взрывоопасности веществ и материалов определяют:

- с целью получения исходных данных для задач математического моделирования пожара, а также для разработки систем противопожарной защиты, предотвращения пожара и взрыва;
- при классификации опасных грузов;
- для выбора категории помещений, зданий и сооружений, а также наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности;
- для подтверждения соответствия веществ и материалов требованиям пожарной безопасности, их классификации и установления областей применения;
- для включения в техническую и сопроводительную документацию.

Согласно [1] пожаро- и взрывоопасность веществ и материалов определяется показателями, выбор которых зависит от агрегатного состояния вещества (материала) и условий его применения.

В соответствии с приведенным стандартом при оценке пожаро- и взрывоопасности все вещества разделены по агрегатному состоянию на газы, жидкости и твердые. В связи со спецификой поведения при горении твердых веществ в тонкоизмельченном состоянии они выделены в самостоятельную группу – пыли.

Газы – это вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25 °С превышает 101,3 кПа; *жидкости* – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25 °С меньше 101,3 кПа (к жидкостям также относят твердые плавящиеся вещества, температура плавления или каплепадения которых меньше 50 °С); *твердые вещества и материалы* – индивидуальные вещества и их смесевые композиции с температурой плавления или каплепадения больше 50 °С, а также вещества, не имеющие температуру плавления (например, древесина, ткани и т. п.); *пыли* (горючие во взвешенном состоянии) – твердые дисперсные материалы, аэрозвеси которых способны в определенном диапазоне концентрации частиц распространять волну горения, представляющую как опасность пожара, так и опасность взрыва.

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов – совокупность свойств, характеризующих способность к возникновению и распространению горения. Следствием горения в зависимости от его скорости и условий протекания могут быть пожар (диффузионное горение) или взрыв (дефлаграционное горение предварительно перемешанной смеси горючего с окислителем).

Группа горючести – классификационная характеристика способности веществ и материалов к горению. Этот показатель применим для всех агрегатных состояний. По горючести вещества и материалы подразделяют на три группы:

1) *негорючие (несгораемые)* – вещества и материалы, не способные к горению в воздухе. Негорючие вещества могут быть пожаро- и взрывоопасными (например, окислители или вещества, выделяющие горючие продукты при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом);

2) *трудногорючие (трудносгораемые)* – вещества и материалы, способные гореть в воздухе при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;

3) *горючие (сгораемые)* – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

На практике группу горючести используют для подразделения материалов по горючести при установлении классов взрывоопасных и пожароопасных зон по ПУЭ, определении категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, разработке мероприятий для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности оборудования и помещений.

Линейная скорость распространения пламени – расстояние, пройденное фронтом пламени в единицу времени. Это физическая величина, характеризующая поступательным линейным движением фронта пламени в заданном направлении в единицу времени.

Нормальная скорость распространения пламени – скорость перемещения фронта пламени относительно несгоревшего газа в направлении, перпендикулярном к его поверхности.

Температура вспышки – наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания, устойчивое горение при этом не возникает.

Вспышка – быстрое сгорание газопаровоздушной смеси над поверхностью горючего вещества, сопровождающееся кратковременным видимым свечением. Значение температуры вспышки применяется для характеристики пожарной опасности жидкости, при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, разработке мероприятий по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности оборудования и помещений.

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение. *Воспламенение* – пламенное горение вещества, инициированное

источником зажигания и продолжающееся после его удаления. Значение температуры воспламенения применяется при определении группы горючести вещества, оценке пожарной опасности оборудования и технологических процессов, связанных с переработкой горючих веществ, при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается самовоспламенение вещества.

Самовоспламенение – резкое увеличение скорости экзотермических объемных реакций, сопровождающееся пламенным горением и (или) взрывом. Значение температуры самовоспламенения применяется при определении группы взрывоопасной смеси, для выбора типа взрывозащищенного электрооборудования, при разработке мероприятий по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности технологических процессов.

Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения) – тот интервал концентраций, в котором возможно горение смесей горючих паров и газов с окислителем. *Нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени* (НКПРП и ВКПРП) – минимальное (максимальное) содержание горючего в смеси «горючее вещество – окислительная среда», при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания. Внутри этих пределов смесь горюча, а вне их – смесь гореть неспособна. Значения концентрационных пределов применяются при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, расчете взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей внутри технологического оборудования и трубопроводов, проектировании вентиляционных систем, расчете предельно допустимых взрывобезопасных концентраций газов, паров и пылей в воздухе рабочей зоны с потенциальными источниками зажигания, а также при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта.

Температурные пределы распространения пламени – такие температуры вещества, при которых его насыщенный пар образует в окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему температурному пределу распространения пламени (НТПРП) и верхнему температурному пределу распространения пламени (ВТПРП). Значения этих пределов применяют при разработке мероприятий по обеспечению безопасности объекта, расчете пожаро- и взрывобезопасных температурных режимов работы технологического оборудования, оценке аварийных ситуаций, связанных с разливом горючих жидкостей.

Температура тления – наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается тление вещества. *Тление* – беспламенное горение твердого вещества, переходящее в видимое, в том числе пламенное горение при обдуве вещества потоком воздуха. Значение температуры тления применяется при экспертизах причин пожаров, выборе взрывозащищенного электрооборудования и разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов.

Теплота сгорания – количество тепла, выделившееся при полном сгорании единицы массы материала в среде кислорода.

Показатель токсичности продуктов горения материала – отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении материала продукты горения вызывают определенный токсический эффект – гибель 50 % подопытных животных.

Излучающая способность пламени – плотность теплового потока очага пожара непосредственно на поверхности пламени при горении материала при пожаре или в условиях специальных испытаний.

Индекс взрыво- и пожароопасности – произведение максимальной скорости нарастания давления взрыва аэрозвеси и характерного размера данного сосуда.

Индекс распространения пламени – условный безразмерный показатель, характеризующий способность веществ воспламеняться, распространять пламя по поверхности и выделять тепло [1].

Номенклатура показателей и их применяемость для характеристики пожаро- и взрывоопасности веществ и материалов приведена в табл. 4.1– 4.3.

Таблица 4.1

Показатели, характеризующие вещество как обладателя определенных пожаро- и взрывоопасных свойств (первая группа)

Показатели пожарной опасности	Вещества и материалы в различном агрегатном состоянии			Пыли
	газообразные	жидкие	твердые	
Группа горючести	+	+	+	+
Максимальное давление взрыва, Па	+	+	–	+
Максимальная скорость нарастания давления взрыва, Па/с	+	+	–	+
Линейная скорость распространения пламени, м/с	–	–	+	–
Нормальная скорость распространения пламени, м/с	+	+	–	+
Температура вспышки, °С	–	+	–	–
Температура воспламенения, °С	–	+	+	+
Температура самовоспламенения, °С	+	+	+	+
Температура тления, °С	–	–	+	+
Температурные пределы распространения пламени (воспламенения), °С	–	+	–	–
Теплота сгорания, МДж/кг	+	+	+	+
Коэффициент дымообразования, м ² /кг	–	–	+	–
Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов	–	–	+	–

Примечание. Знак «+» обозначает применяемость, знак «–» – неприменяемость показателя.

Первая группа показателей (см. табл. 4.1) необходима:

- при категорировании наружных установок по взрыво- и пожароопасности;
- категорировании пожарной опасности помещений;
- классификации и определении области применения веществ и материалов;
- математическом моделировании пожара в здании (сооружении).

Таблица 4.2

Показатели (критерии), характеризующие условия распространения пожара и его последствия (вторая группа)

Показатели пожарной опасности	Вещества и материалы в различном агрегатном состоянии			Пыли
	газообразные	жидкие	твердые	
Излучающая способность пламени	–	+	+	–
Индекс взрыво- и пожароопасности, Па·м/с	–	–	–	+
Индекс распространения пламени	–	–	+	–
Кислородный индекс, % об	–	–	+	–
Максимальная скорость распространения пламени вдоль поверхности горючей жидкости, м/с	–	+	–	–
Концентрационный предел диффузионного горения газовых смесей в воздухе, % об	+	+	–	–
Предельная скорость срыва диффузионного факела, м/с	+	+	–	–
Способность к экзотермическому разложению	+	+	+	+
Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	–	+	+	–

Примечание. Знак «+» обозначает применяемость, знак «–» – неприменяемость показателя.

Вторая группа (см. табл. 4.2) показателей (совместно с первой группой) необходима:

- для классификации веществ и материалов;
- определения вероятности воздействия опасных факторов пожара;
- определения вероятности возникновения пожара, взрыва в здании, на объектах и наружных установках.

Третья группа показателей (табл. 4.3) необходима для разработки мероприятий, которые направлены на выбор и обоснование организационно-технических и инженерных решений по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности изделий, зданий, технологических процессов и объектов [1].

Таблица 4.3

Показатели (критерии), необходимые для разработки мероприятий, которые направлены на выбор и обоснование организационно-технических и инженерных решений по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности изделий, зданий, технологических процессов и объектов (третья группа)

Показатели пожарной опасности	Вещества и материалы в различном агрегатном состоянии			Пыли
	газообразные	жидкие	твердые	
1	2	3	4	5
Минимальная флегматизирующая концентрация газообразного флегматизатора, % об	+	+	–	+
Минимальная энергия зажигания, Дж	+	+	–	+

1	2	3	4	5
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода, % об	+	+	–	+
Коэффициент дымообразования, м ² /кг	–	–	+	–
Показатель токсичности продуктов горения, г/м ³	–	–	+	–
Безопасный экспериментальный максимальный зазор, мм	+	+	–	+
Выделение токсичных продуктов горения с единицы массы горючего, кг/кг	–	+	+	–
Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения) в газах и парах, в пылях, % об (кг/м ³)	+	+	–	+
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами	+	+	+	+
Способность к воспламенению при адиабатическом сжатии	+	+	–	–
Способность к самовозгоранию	–	–	+	+
Потребление кислорода на единицу массы горючего, кг/кг	–	+	+	–
Скорость нарастания давления взрыва, Па/с	+	+	–	+
Индекс взрыво- и пожароопасности, Па·м/с	–	–	–	+

Примечание. Знак «+» обозначает применяемость, знак «–» – неприменяемость показателя.

Методы расчета температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей. Предприятия, на которых перерабатываются или используются горючие жидкости, представляют собой большую пожарную опасность. Это объясняется тем, что горючие жидкости легко воспламеняются, интенсивно горят, образуют взрывоопасные паровоздушные смеси и плохо поддаются тушению водой. Горение жидкостей происходит только в паровой фазе. Скорость испарения и количество паров жидкости зависят от ее природы и температуры. Количество насыщенных паров над поверхностью жидкости зависит от ее температуры и атмосферного давления. В состоянии насыщения число испаряющихся молекул равно числу конденсирующихся, и концентрация пара остается постоянной. Горение паровоздушных смесей возможно только в определенном диапазоне концентраций, т. е. они характеризуются концентрационными пределами распространения пламени (НКПРП и ВКПРП). Процесс воспламенения и горения жидкостей можно представить следующим образом. Для воспламенения необходимо, чтобы жидкость была нагрета до определенной температуры (не меньше НТПРП). После воспламенения скорость испарения должна быть достаточной для поддержания постоянного горения. Эти особенности горения жидкостей характеризуются температурами вспышки и воспламенения. Температура вспышки соответствует нижнему температурному пределу воспламенения. В зависимости от численного значения температуры вспышки жидкости подразделяются на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ).

К *легковоспламеняющимся жидкостям* относятся жидкости с температурой вспышки не более 61 °С в закрытом тигле или 66 °С в открытом тигле. Для ЛВЖ температура воспламенения обычно на 1–5 °С выше температуры вспышки, а для горючих жидкостей эта разница может достигать 30–35 °С. В зависимости от температуры вспышки ЛВЖ подразделяются на три разряда:

1) *особо опасные* – с температурой вспышки от $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже в закрытом тигле или от $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже в открытом тигле. К особо опасным ЛВЖ относятся ацетон, диэтиловый спирт, изопентан и др.;

2) *постоянно опасные* – это горючие жидкости с температурой вспышки от -18 до $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ в закрытом тигле или от -13 до $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$ в открытом тигле. К ним относятся бензил, толуол, этиловый спирт, этилацетат и др.;

3) *опасные при повышенной температуре* – это горючие жидкости с температурой вспышки от 23 до $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ в закрытом тигле. К ним относятся хлорбензол, скипидар, уайт-спирит и др.

Температура вспышки жидкостей, принадлежащих к одному классу (жидкие углеводороды, спирты и др.), закономерно изменяется в гомологическом ряду, повышаясь с увеличением молекулярной массы, температуры кипения и плотности [1].

Температуру вспышки (воспламенения) определяют экспериментальным и расчетным путем.

Ориентировочно расчет температуры вспышки производится по правилу Орманда и Гровена:

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{кип}} \cdot m, \quad (4.1)$$

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

$T_{\text{кип}}$ – температура кипения, К;

m – коэффициент, равный 0,736.

Температура кипения жидкостей приведена в табл. 4.4 [5].

Таблица 4.4

Температура кипения жидкостей

Наименование жидкости	Температура кипения, $^{\circ}\text{C}$
Скипидар	
живичный	153–180
экстракционный	150–220
сухоперегонный ретортный очищенный	150–225
Дизельное топливо	
Керосин	150–300
Топливо для реактивных двигателей	150–225
Масла	
трансформаторное	385–450
веретенное	380–480
автомобильное	390–460
индустриальное	350–390
вазелиновое	400–480
Масло ПН-6	350–500

Экспериментально температуру вспышки определяют в приборах закрытого и открытого типа. Для определения температуры вспышки заданную массу жидкости (вещества) нагревают с заданной скоростью, периодически зажигая выделяющиеся пары и визуально оценивая результаты зажигания [5].

Категорирование производств и объектов по взрывопожароопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожароопасности осуществляется в соответствии с [2].

Категории помещений, зданий и наружных установок применяются для установления нормативных требований по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности указанных помещений, зданий и наружных установок в отношении планировки застройки, этажности и площадей пожарных отсеков, размещения помещений, обеспечения эвакуации людей, конструктивных решений, инженерного оборудования. Мероприятия по обеспечению безопасности людей разрабатываются в зависимости от пожаро- и взрывоопасных свойств и количества веществ и материалов. По взрывопожароопасности *помещения* подразделяются на категории А, Б, В1–В4, Г1, Г2, Д, а *здания* – на категории А, Б, В, Г и Д. Категории взрывопожароопасности помещений и зданий определяются для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода, исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов. Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки их принадлежности к категориям, приведенным в табл. 4.5, от высшей (А) к низшей (Д) [2].

Таблица 4.5

Категории помещений по взрывопожароопасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А (взрывопожароопасная)	Горючие газы (ГГ), легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б (взрывопожароопасная)	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пыле- или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1–В4 (пожароопасные)	ГГ, ЛВЖ, ГЖ и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом взрываться и гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г1	ГГ, ЛВЖ, ГЖ, твердые горючие вещества и материалы, которые сжигаются или утилизируются в процессе контролируемого горения в качестве топлива
Г2	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии, горючие и трудногорючие вещества и материалы в таком количестве, что удельная пожарная нагрузка на участке их размещения в помещении не превышает 100 МДж/м ² , а пожарная нагрузка в пределах помещения – 1000 МДж

Определение пожароопасных категорий В1–В4 помещений. Категории В1–В4 определяются по величине пожарной нагрузки в помещении.

Под *пожарной нагрузкой* понимается совокупность веществ, материалов, оборудования и конструкций, имеющихся на данном объекте, которые при пожаре могут гореть. Часть пожарной нагрузки, находящаяся в строительных конструкциях, является постоянной пожарной нагрузкой, а та, которая изменяется в процессе эксплуатации помещения, здания, сооружения, является переменной. Основным показателем, характеризующим пожарную нагрузку, является расчетный показатель, который определяет количество теплоты, выделяющейся с единицы площади при пожаре.

При категорировании производственных объектов допускается относить к категории В4 помещения, в которых находятся:

- горючие и трудногорючие жидкости с температурой вспышки +120 °С и выше в системах смазки, охлаждения и гидропривода оборудования массой менее 60 кг на единицу оборудования при давлении в системе менее 0,2 МПа;
- трудногорючие вещества и материалы, строительные материалы группы горючести Г1 в качестве временной пожарной нагрузки;
- электрические кабели для запитки технологического и инженерного оборудования, приборов освещения (за исключением маслонаполненных);
- ГГ (при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категории А и отсутствует иная пожарная нагрузка);
- негорючие грузы в горючей упаковке (для складских помещений).

Определение пожароопасной категории помещения В1–В4 осуществляется путем сравнения максимального значения удельной временной пожарной нагрузки на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в табл. 4.6 [3].

Таблица 4.6

Определение пожароопасной категории помещения В1–В4

Категория помещения	Удельная пожарная нагрузка g на участке, МДж/м ²
В1	Более 2200
В2	1400–2200
В3	200–1400
В4	100–200

При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания (смесь) горючих жидкостей, твердых горючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка, пожарная нагрузка Q (МДж) определяется по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{Hi}^p, \quad (4.2)$$

где Q_{Hi}^p – низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж·кг⁻¹.
 G_i – количество i -го материала пожарной нагрузки, кг.

Значения низшей теплоты сгорания Q_{Hi}^p принимают по табл. 4.7

Таблица 4.7

Низшая теплота сгорания $Q_{Нi}^p$ и плотность ТГМ, ЛВЖ и ГЖ

Наименование веществ и материалов	Низшая теплота сгорания, МДж · кг ⁻¹	Плотность, кг · м ⁻³
<i>Жидкие горючие вещества и материалы</i>		
1. Ацетон	29	790,5
2. Бензин	41,9	722–751
3. Бензол	40,9	879
4. Бутиловый спирт	41,9	809,9
5. Дизельное топливо	43	831–921
6. Керосин	43,54	810–840
7. Ксилол	40,8	880,2
8. Лак изоляционный пропиточный	42	953
9. Мазут	39,8	925
10. Масло промышленное	42	903–917
11. Масло трансформаторное	42	878
12. Масло турбинное	41,87	900
13. Метиловый спирт	22,7	791,5
14. Нефть	41,9	840–916
15. Соляровое масло	42	900
16. Толуол	41	867
17. Уайт-спирит	43,62	776
18. Эмаль ПФ-115	42	960
19. Этиловый спирт	27,2	780,9
20. Клей (резиновый)	42	850
<i>Твердые горючие вещества и материалы</i>		
21. Бумага разрыхленная	13,4	300
22. Бумага (книги, журналы)	13,4	450
23. Древесина сосновая	13,8	240
24. Каучук синтетический	40,2	910–940
25. Картон серый	15,43	0,67 кг/м ²
26. Линолеум ПХВ	16,10	32 кг/м ²
27. Мипора (резина пористая)	17,43	80–500
28. Плиты пенополистирольные	41,24	3635
29. Резина	33,52	250–1475
30. Стеклопластик	10,803	1000–1250
31. Ткань хлопчатобумажная	16,75	1700
32. Ткань шерстяная (в навал)	22,58	190

Удельная пожарная нагрузка q (МДж · кг⁻²), определяется по формуле

$$q = \frac{Q}{S}, \quad (4.3)$$

где S – площадь размещения пожарной нагрузки, м² (но не менее 10 м²).

В помещениях категорий В1–В4 допускается наличие нескольких участков с пожарной нагрузкой, не превышающей значений, приведенных в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Значения удельной пожарной нагрузки для помещений категорий В1–В4

Категория	Удельная пожарная нагрузка на участке, МДж · м ⁻²	Способ размещения
В1	Более 2200	Не нормируется
В2	1400–2200	По требованиям п. 5.3.2 ТКП 474–2013
В3	200–1400	То же
В4	100–200	На любом участке пола помещения площадью не более 10 м ² . Способ размещения участков пожарной нагрузки определяется согласно требованиям п. 5.3.4 ТКП 474–2013

В помещениях категории В4 расстояния между этими участками должны быть более предельных. Рекомендуемые значения предельных расстояний $l_{пр}$ в зависимости от величины критической плотности падающих лучистых потоков $q_{кр}$ (кВт · м⁻²) для пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов, приведены в табл. 4.9 [3].

Таблица 4.9

Значения предельных расстояний между участками с различной пожарной нагрузкой

$q_{кр}$, кВт · м ²	До 5	Свыше 5, до 10	Свыше 10, до 15	Свыше 15, до 20	Свыше 20, до 25	Свыше 25, до 30	Свыше 30, до 40	Свыше 40, до 50
$l_{пр}$, м	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Величины $l_{пр}$, приведенные в табл. 4.9, рекомендуются при условии, если $H \leq 11$ м; если $H > 11$ м, то предельное расстояние определяется как

$$l = l_{пр} + (11 - H), \quad (4.4)$$

где $l_{пр}$ определяется по табл. 4.8,

H – минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия (покрытия), м.

Если пожарная нагрузка состоит из различных материалов, то значение $q_{кр}$ определяется по материалу с минимальным значением $q_{кр}$. Для материалов пожарной нагрузки с неизвестными значениями $q_{кр}$ значения предельных расстояний принимаются $l = 12$ м.

Для пожарной нагрузки, состоящей из ЛВЖ или ГЖ, рекомендуемое расстояние ($l_{пр}$) между соседними участками размещения (разлива) пожарной нагрузки составит: $l_{пр} \geq 15$ м при $H \geq 11$ м и $l_{пр} \geq 26 - H$ при $H < 11$ м.

Значения интенсивности теплового излучения q определяются по методике, приведенной в [2].

Критическая плотность падающих лучистых потоков может быть определена по табл. 4.10 [2].

Таблица 4.10

Критическая плотность падающих лучистых потоков $q_{кр}$ для пожарной нагрузки, состоящей из твердых горючих и трудногорючих материалов

Материал	Критические плотности падающих потоков $q_{кр}$, кВт · м ⁻²
Древесина (сосна влажностью 12 %)	13,9
Древесно-стружечные плиты плотностью 417 кг·м ⁻³	8,3
Торф брикетный	13,2
Торф кусковой	9,8
Хлопок волокно	7,5
Слоистый пластик	15,4
Стеклопластик	15,3
Пергамин	17,4
Резина	14,8
Уголь	35,0
Рулонная кровля	17,4

Если при определении категорий В2 или В3 количество пожарной нагрузки Q , определенное по формуле (4.2), превышает или равно $Q = 0,64qH^2$, то помещение будет относиться к категории В1 или В2 соответственно.

Помещение площадью менее 10 м² независимо от обращающихся в них пожароопасных веществ и материалов следует относить к категории В4.

После определения категории помещений (участков) можно оценить *категорию всего здания* по взрывопожароопасности.

Здание относится к категории А, если в нем суммарная площадь помещений категории А превышает 5 % площади всех помещений или 200 м². Допускается не относить здание к категории А, если суммарная площадь помещений категории А в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м²) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Б, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категории А; суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5 % суммарной площади всех помещений или 200 м². Допускается не относить здание к категории Б, если суммарная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м²) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории В, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категориям А или Б; суммарная площадь помещений категорий А, Б и В1–В3 превышает 5 % (10 %, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений. Допускается не относить здание к категории В, если суммарная площадь помещений категорий А, Б и В1–В3 в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещен-

ных в нем помещений (но не более 3500 м²) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Г, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категориям А, Б или В; суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1–В3 и Г1–Г2 превышает 5 % суммарной площади всех помещений. Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В1–В3 и Г1–Г2 в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м²) и помещения категорий А, Б, В1–В3 оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Д, если оно не относится к категориям А, Б, В или Г [3].

Пожарная связь. Современные радиоэлектронные системы – сложное и дорогостоящее оборудование, поэтому даже незначительное возгорание в помещении, где оно расположено, может привести к большому материальному ущербу. Пожарная безопасность производственных объектов обеспечивается системой предотвращения пожаров и системой пожарной защиты [1].

Среди различных средств системы пожарной защиты важную противопожарную функцию выполняют автоматические средства пожарной сигнализации и оповещения о пожаре, средства пожаротушения. Своевременное извещение о начавшемся пожаре дает возможность быстро его ликвидировать и уменьшить размеры материального ущерба. Наиболее распространенными средствами пожарной связи между защищаемым объектом и пунктом пожарной охраны являются электрическая и автоматическая пожарная сигнализация (ПС).

Основными элементами ПС являются: пожарные извещатели (ПИ); приемно-контрольные устройства (станции), обеспечивающие дистанционный контроль за состоянием ПИ и исполнительных элементов, срабатывание сигнализации о пожаре и ввод в действие средств пожаротушения; электропроводная сеть, соединяющая извещатели с приемной станцией (ПСТ) и источники питания электроэнергией.

Соединение извещателей с приемной станцией может осуществляться по лучевой или кольцевой схеме (рис. 4.1).

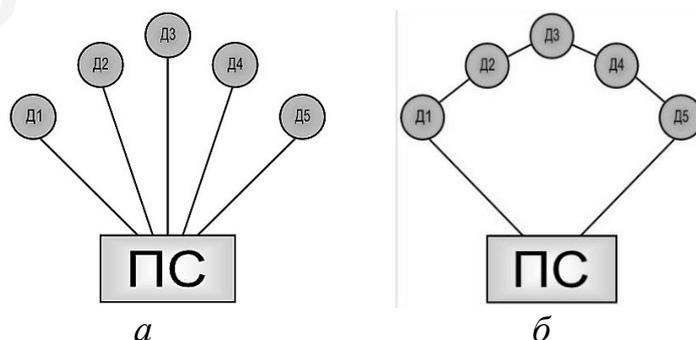


Рис. 4.1. Схема соединения извещателей с применением станций:
а – лучевое соединение; б – кольцевое соединение

Лучевая схема требует большого количества проводов и принимает сообщения одновременно от всех извещателей при любых односторонних повреждениях (обрыв, заземление), поэтому используется на предприятиях и в учреждениях с относительно небольшой занимаемой площадью. В один луч может быть включено до 10 извещателей [5].

К достоинствам лучевой схемы пожарной сигнализации следует отнести возможность одновременной подачи любого числа сигналов соответственно числу лучей, простое устройство извещателей. К недостаткам такой системы можно отнести высокую стоимость работ по прокладке линий связи, большое количество соединительных проводов.

При *кольцевой схеме* соединения все извещатели (до 50 шт.) соединяются последовательно с общим проводом. Каждый извещатель кольцевой системы имеет специальный часовой механизм. При срабатывании извещателя кроме акустического или светового сигнала тревоги на ленте приемной аппаратуры станции записывается номер датчика, по которому определяется место возникшего пожара.

Преимущества кольцевой схемы пожарной сигнализации: возможность получения фиксированного номера извещателя, от которого подан сигнал; значительно меньшее количество проводов связи извещателей с приемной станцией по сравнению с лучевой схемой; автоматическое извещение на приемной станции о неисправностях, возникших в системе. К недостаткам такой схемы соединения можно отнести зависимость работы одного извещателя от других; сложность схемы и конструкции извещателя и более высокую стоимость приемного аппарата.

Наиболее часто используемые приемные станции систем электрической пожарной сигнализации:

- станция тревожная, оптическая, лучевая ТОЛ/1 10/100, работает с тепловыми извещателями типа АТИМ-3, АТП, ПОСТ-1, а также с дымовыми извещателями типа ИП, И-Ф;
- радиоизотопная установка пожарно-охранной сигнализации РУОП-1, работает с дымовыми радиоизотопными извещателями типа РИ-1;
- приемная станция С-ПУ с комбинированными извещателями типа КИ-1;
- комплексная установка СКПУ-1 может включать до 500 комбинированных пожарных извещателей типа КИ-1 или до 50 световых извещателей СИ-1.

Эти системы пожарной сигнализации обеспечивают световую и звуковую сигнализацию о поступающих сигналах тревоги, повреждениях линий связи [6].

Наиболее эффективной связью извещателей с ПС считается комбинированная (рис. 4.2). Она представляет собой сочетание кольцевой и лучевой линий связи. В этом случае датчики внутри контролируемых объектов соединены кольцевой схемой, а сами объекты с ПС – по лучевой схеме.

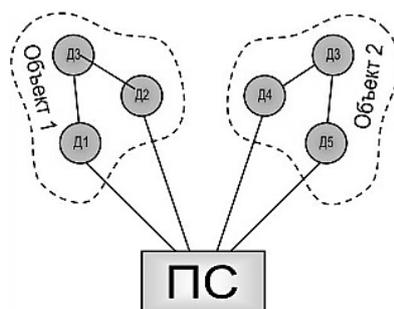


Рис. 4.2. Комбинированная линия связи

В качестве приемной станции АСПС используются приемно-контрольные пункты, именуемые – коммутаторы. Главная функция коммутатора – получить и обработать сигналы с извещателей, которые будут понятны службам пожарной безопасности. Обычно это звуковой сигнал тревоги и световой указатель извещателя, указывающих место возникновения очага пожара. В качестве дополнительных команд ПС может обеспечить остановку машин и оборудования, отключение электроэнергии, перекрытие трубопроводов, запуск аварийных систем, закрытие огненных преград, подачу в очаг горения водяной пыли, пены, инертного газа и т. д. [3].

Пожарные извещатели. Эффективность электрической и автоматической пожарной сигнализации в значительной степени обуславливается тем, в какой момент времени после начала пожара может быть получен сигнал пожарной опасности. Пожарные извещатели (датчики) – чувствительные элементы пожарной опасности – являются наиболее важными узлами систем противопожарной автоматики и во многом определяют их эффективность.

По конструктивному исполнению пожарные извещатели бывают ручного действия (кнопочные) и автоматические. Ручные обеспечивают замыкание (размыкание) электрической цепи сигнализации при нажатии кнопки и устанавливаются внутри производственных помещений (в коридорах, на лестничных клетках) или вне их на высоте 1,5 м от уровня пола или земли.

Пожарные извещатели, которые реагируют на факторы, сопутствующие пожару (выделение тепла с повышением температуры, появление пламени, дыма, турбулентное движение воздуха), называются *автоматическими*. В зависимости от физического фактора пожара, на который они реагируют, пожарные извещатели делятся на тепловые, дымовые, световые, ультразвуковые, комбинированные (реагируют одновременно на несколько факторов, сопутствующих пожару).

По принципу действия автоматические пожарные извещатели подразделяют на максимальные, максимально-дифференциальные и дифференциальные. *Максимальные* срабатывают при достижении контролируемого параметра определенной величины; *дифференциальные* реагируют на скорость изменения контролируемого параметра; *максимально-дифференциальные* срабатывают как на достижение контролируемым параметром заданной величины, так и на скорость его изменения. Автоматические пожарные извещатели используются для защиты как жилых и производственных помещений, так и производственного оборудования. В первом случае их монтируют на потолке, во втором – внутри оборудования. Выбор оптимального

извещателя для конкретных условий определяется степенью пожарной опасности производства, характером предполагаемого пожара и динамикой его развития, видом помещения или защищаемого оборудования, возможными помехами в контролируемом пространстве и пр.

Основные характеристики пожарных извещателей:

– чувствительность (порог срабатывания) – минимальная величина контролируемого параметра (или скорость изменения его), при которой извещатель срабатывает;

– инерционность (время срабатывания) – промежуток времени от начала воздействия контролируемого параметра до момента срабатывания извещателя и подачи сигнала;

– зона действия – площадь или объем, в пределах которых один извещатель надежно регистрирует очаг загорания. Для каждого типа извещателя существует максимальная зона действия, превышение которой резко снижает эффективность электрической пожарной сигнализации.

Тепловые пожарные извещатели. Их принцип действия основан на изменении свойств чувствительных элементов (электрической проводимости, контактной разности потенциалов, изменения линейных размеров твердых тел) при изменении теплового состояния окружающей среды в помещении, где возник очаг пожара. Чувствительными элементами в таких извещателях могут быть биметаллические пластинки, легкоплавкие сплавы, термопары, полупроводниковые материалы. Тепловые датчики устанавливаются в пожароопасных местах закрытых помещений (обычно в верхней части), где происходит постоянное движение воздуха. Тепловые извещатели с плавкими датчиками наиболее распространены ввиду их простоты, надежности и малой стоимости. Устанавливаются такие датчики во взрывоопасных помещениях. При возникновении пожара припой расплавляется, и пружинящие пластинки размыкают цепь сигнализации.

Дымовые извещатели. В связи с тем что видимые и невидимые газы являются первыми, а при тлеющих пожарах единственными признаками возникновения очага загорания, то для обнаружения таких пожаров используются дымовые датчики, реагирующие на продукты горения. Чувствительными элементами таких датчиков могут быть ионизационные камеры – ионизационный дымовой извещатель или оптическое устройство (фотоэлемент) – датчик дымовой оптический. Принцип действия ионизационных дымовых извещателей основан на изменении электрической проводимости газов, возникающей под влиянием радиоактивного излучения изотопов. Оптические датчики реагируют на ослабление первичного светового потока за счет уменьшения прозрачности окружающей среды или на рассеянный частицами дыма световой поток. Первый принцип используется в охранно-пожарных извещателях, второй – в пожарных извещателях типа ИДФ и ДИП. Извещатель дымовой фотоэлектрический типа ИДФ предназначен для обнаружения дыма. В качестве чувствительного элемента в датчике используется фоторезистор. Извещатель дымовой полупроводниковый ДИП-1 работает также по принципу регистрации рассеянного частицами дыма света.

Световые извещатели. Эти извещатели реагируют на появление открытого пламени на фоне посторонних источников света. Чувствительными элементами в датчиках являются различные фотоприемники (фоторезисторы, счетчики фотонов – газонаправленные фотоэлементы с внешним фотоэффектом). Световые извещатели обладают высокой чувствительностью и малой инерционностью, поэтому их целесообразно применять для обнаружения быстро развивающихся пожаров (время развития не более 1 мин). Датчики такого типа позволяют контролировать площадь до 1000 м² и используются в помещениях большой высоты, где предполагаемый пожар может сопровождаться появлением открытого пламени.

Ультразвуковые извещатели. Используются в системах пожарно-охранной сигнализации и служат для обнаружения объемного (пространственного) пожара. Размер контролируемого помещения 1000–3000 м³. Датчики реагируют на изменение амплитуды и частоты ультразвуковых колебаний в защищаемом помещении под действием турбулентных потоков воздуха, которые образуются при возникновении или при проникновении на объект движущегося предмета. Ультразвуковые колебания источника частично поглощаются, частично отражаются от границы раздела турбулентных воздушных потоков. В дежурном режиме (при относительной неподвижности воздушной среды) амплитудно-частотная модуляция сигналов, принятых приемником, отсутствует. В режиме тревоги (возникновение пожара или появление движущегося объекта) возникает амплитудно-частотная модуляция сигнала. Приемное устройство выделяет модулирующий сигнал и при превышении им заданного уровня срабатывает пороговое устройство. Извещатели такого типа чувствительны к помехам (высокая подвижность воздуха), поэтому в приемных устройствах применяются специальные схемы защиты, исключающие ложное срабатывание. Ультразвуковые извещатели используют колебания от 19 до 30 кГц и могут работать только в закрытых помещениях.

Комбинированные датчики. В связи с тем что горение многих веществ и материалов сопровождается одновременно выделением тепла и дыма, целесообразно в одном извещателе использовать несколько типов чувствительных элементов. Таким датчиком является модифицированный дымовой полупроводниковый датчик типа ДИП. В извещателе используется два чувствительных элемента: фотодиод, реагирующий на свет, рассеянный частицами дыма, и термочувствительный элемент (полупроводниковый диод), обратное сопротивление которого уменьшается при повышении температуры выше 60 °С. Пороговое устройство срабатывает при поступлении сигналов от любого из датчиков.

Датчики, предупреждающие о пожарной опасности. В настоящее время разрабатываются средства противопожарной автоматики, предотвращающие развитие пожароопасной ситуации. Для этого в системах пожарной сигнализации применяют датчики, сигнализирующие об отклонениях в технологических процессах и наличии условий, способствующих возникновению пожара на основе определения концентрации газов в защищаемом объеме.

Средства пожаротушения. Прекращение горения в условиях пожара достигается охлаждением зоны горения, введением в нее негорючих газов, исключением доступа кислорода, путем изоляции горящих веществ. Для этого используются

жидкие, газообразные и твердые огнегасительные вещества: вода, водяной пар, водные эмульсии, инертные газы и галлоидированные углеводороды, химическая и воздушно-механическая пены, различные порошки, сжатый воздух. Они обладают, как правило, несколькими свойствами, обеспечивающими прекращение реакции горения.

Вода, водяной пар и водные эмульсии применяются для тушения практически всех видов пожаров за исключением пожаров на электроустановках под напряжением, жидкостей, не смешивающихся с водой, ценного оборудования, библиотек.

Инертные газы (аргон, гелий, углекислый и дымовые газы, азот, галлоидированные углеводороды (бромистый этил и др.)) используют в огнетушителях, стационарных установках для тушения пожаров, легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих (ГЖ) жидкостей, электроустановок под напряжением и т. п.

Химическая пена получается из специальных порошков в пеногенераторах и огнетушителях при взаимодействии щелочного и кислотного составов и используется для тушения ЛВЖ и ГЖ.

Воздушно-механическая пена (смесь воздуха, воды и пенообразователя) применяется для тушения пожаров нефтепродуктов.

Порошки (углекислая и двууглекислая сода и др.) применяются для тушения пожаров металлов, электроустановок под напряжением.

Сжатый воздух используется для тушения ГЖ методом их перемешивания.

Огнегасительные вещества и составы используются в различных видах пожарной техники и, в частности, в автоматических установках пожаротушения. Это установки жидкостного, аэрозольного, водяного, пенного, газового, парового, порошкового пожаротушения.

Для тушения пожаров в отопляемых и неотапливаемых помещениях внутри зданий применяют автоматические спринклерные и дренчерные установки. В зависимости от температуры воздуха в помещении применяют спринклерные установки водяного, воздушно-водяного и воздушного пожаротушения для охлаждения строительных конструкций и локального тушения пожаров. При пожаре под действием тепла вскрываются находящиеся под напором спринклерные головки и очаг пожара орошается водой, срабатывает контрольно-сигнальный клапан, и с его помощью с сигнального устройства подается сигнал тревоги. Дренчерные установки применяют для создания водяных завес и тушения пожаров по всей расчетной площади.

Первичные средства пожаротушения. К ним относятся ручные огнетушители, асбестовые и грубошерстные полотна, ящики с песком, бочки с водой и т. п. Песок используют для тушения небольших очагов возгорания кабелей, электропроводки, ГЖ (масел, красок и т. п.). Войлок, грубошерстные и асбестовые полотна используются для защиты от огня ценного оборудования и т. п. [4].

В зависимости от применяемого огнегасительного вещества различают следующие виды огнетушителей: химические пенные, углекислотные, порошковые, аэрозольные.

Химические пенные огнетушители ОХП-5, ОХП-10, ОХП-М используют для тушения небольших очагов возгорания ЛВЖ и ГЖ. Огнетушитель ручной густопенный ОХП-5 имеет заряд, состоящий из кислотной части (смесь сернокислого окисного железа $Fe_2(SO_4)$) с серной кислотой (H_2SO_4), помещенной в стакан емкостью 0,5 л, и щелочной части в виде раствора щелочи ($NaHCO_3$) с солодковым экстрактом, которая содержится в баллоне. При смешивании кислотной и щелочной частей огнетушителя в результате химической реакции образуется углекислый газ, который создает в баллоне избыточное давление и совместно с солодковым экстрактом образует густую пену. Пена под давлением в виде струи выбрасывается через специальное отверстие – спрыск, сбивает пламя и, покрывая горящую поверхность, изолирует ее от кислорода воздуха.

Ручные углекислотные огнетушители марок ОУ-2, ОУ-5, У-6 (емкость стальных баллонов соответственно 2, 6 и 8 л) наполняют сжиженным газом под давлением 36 атм. Выбрасываемые из огнетушителя хлопья углекислого снега имеют температуру порядка -70 °С. Попадая в зону горения, они снижают температуру горящих веществ и концентрацию кислорода в очаге загорания. Данные огнетушители применяются для тушения небольших загораний в автомобилях, электроустановках под напряжением, ЛВЖ и т. п. Ручные и углекислотно-бромэтиловые огнетушители ОУБ-3, ОУБ-7 (емкость баллона соответственно 3 и 7 л) применяют для тушения небольших возгораний всех видов горючих и тлеющих материалов, а также для тушения пожаров в электроустановках под напряжением при температуре окружающей среды от -60 до $+60$ °С. Время действия огнетушителей составляет 36 с, длина струи 3–5 м. Углекислотные и углекислотно-бромэтиловые огнетушители не применяются для тушения горящих щелочных металлов и сплавов на их основе, а также горючих материалов, способных гореть без доступа воздуха.

Аэрозольные огнетушители предназначены для тушения возгораний легковоспламеняющихся жидкостей, твердых веществ, электроустановок, находящихся под напряжением, кроме щелочных металлов и кислородсодержащих участков. Зарядами служат составы на основе галондированных углеводородов (бромистый этил, тетрафтордибромэтан и пр.). Аэрозольные огнетушители ОА-1 и ОА-Э предназначены для тушения возгораний на транспортных средствах с двигателями внутреннего сгорания, а также на электроустановках с напряжением до 380 В. Аэрозольный огнетушитель представляет собой стальной баллон, в горловину которого ввернута крышка с запорно-пусковым устройством, баллоном со сжатым газом и сифонной трубкой. При тушении пожара поднимают рукоятку и нажимают на пусковой рычаг до упора. Шток прокалывает мембрану баллона, перемещает шарик и открывает доступ газа из баллона в корпус огнетушителя. Давление в корпусе возрастает и бромистый этил через сифонную трубку поступает в выходное сопло, где жидкая фаза заряда превращается в газожидкостную аэрозольную струю.

Порошковые огнетушители ОПС-6, ОПС-10 (емкость баллонов соответственно 6 и 10 л) применяются для тушения небольших очагов загорания щелочных металлов. Ручные воздушные огнетушители типа ОВП-6, ОВП-10 используют для тушения пожаров ЛВЖ и ГЖ. Огнегасительное вещество (воздушно-механическая пена) образуется в результате перемешивания водного раствора пенообразователя

ПО-1 и содержит до 90 % воздуха, 9,8 % воды и 0,2 % пенообразователя. Время действия составляет около 20 с, длина струи – 4,5 м.

Выполнение лабораторной работы

Экспериментально температуру вспышки определяют в приборах закрытого и открытого типа, температуру воспламенения – в приборах открытого типа. Для определения температуры вспышки (воспламенения) заданную массу жидкости (вещества) нагревают с заданной скоростью, периодически зажигая выделяющиеся пары и визуальную оценивая результаты зажигания [5].

Требования безопасности при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда при работе на лабораторной установке и ознакомленные с данным учебно-методическим пособием.

Выполнение работы одним студентом в лаборатории не допускается.

Приступать к выполнению лабораторной работы необходимо только после ознакомления с порядком работы с приборами.

Включение установки производить только с разрешения преподавателя.

При проведении испытания не допускается оставлять рабочее место без присмотра.

По окончании испытания: а) проконтролировать отключение электроэнергии, газа; б) привести рабочее место в порядок.

Определение температуры вспышки в закрытом тигле. Температуру вспышки жидкостей в закрытом тигле можно определять на установке ПТВ-1 (рис. 4.3).

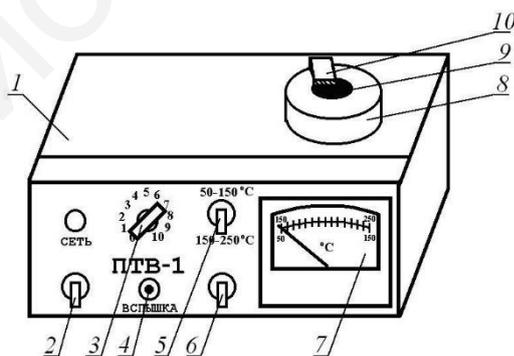


Рис. 4.3. Прибор ПТВ-1 для определения температуры вспышки:

- 1 – блок питания; 2 – тумблер основного питания; 3 – переключатель регулирования скорости подъема температуры; 4 – кнопка включения нагрева спирали воспламенителя; 5 – тумблер переключения диапазона измеряемых температур; 6 – тумблер дополнительного питания; 7 – термометр; 8 – блок вспышки; 9 – тигель; 10 – воспламенитель

Прибор состоит из блока питания 1 и блока вспышки 8 (оба блока смонтированы в одном корпусе). На передней панели размещены: тумблер основного питания 2, тумблер дополнительного питания 6, тумблер переключения диапазона измеряемых температур 5, переключатель регулирования скорости подъема температуры 3, кнопка включения нагрева спирали воспламенителя 4, измерительный двухшкальный прибор – термометр 7. Блок вспышки представляет собой цилиндр, в котором размещены нагреватели, датчики и резисторы мостовой схемы питания измерительного прибора. В верхней части блока питания под съемной крышкой со смотровым стеклом установлены тигель 9 и воспламенитель 10. Нагрев пробы производится электрическим нагревателем. Температура пробы в тигле, при которой происходит воспламенение паров, принимается за температуру вспышки. Воспламенение происходит при контакте паров с раскаленной спиралью воспламенителя.

Ход работы:

1. Уточнить у преподавателя наименование испытуемой жидкости.
2. Рассчитать температуру вспышки испытуемой жидкости по формуле (4.1).

Определение температуры вспышки горючих жидкостей (масел):

1. Снять с блока вспышки крышку, вынуть воспламенитель и тигель, проверить крепление спирали воспламенителя и установить его на место. Включить прибор тумблером «Сеть».

2. Кратковременно, в течение 5 с, при нажатой кнопке проверить степень нагрева спирали (спираль должна накаливаться до ярко-красного цвета).

3. Снять воспламенитель, закрыть блок вспышки крышкой. Поставить тумблер диапазона измерения температур в положение 50–150 °С, переключатель скорости подъема температуры – в положение 6 и включить дополнительный нагрев.

4. При достижении температуры 140 °С тумблер диапазона измерения температур переключить в положение 150–250 °С.

5. Пока идет прогрев установки заполнить тигель с меткой «М» исследуемым маслом до уровня верхней кромки стержня или кольцевой канавки (в зависимости от конструкции тигля).

6. После нагрева прибора до температуры 150–170 °С переключатель скорости подъема температуры поставить в нулевое положение.

7. Снять с блока крышку, установить тигель с исследуемым маслом, вставить воспламенитель (спираль воспламенителя должна быть ниже края тигля на 0,2–0,4 мм), закрыть блок крышкой.

8. Поставить тумблер скорости подъема температуры в положение 6, включить дополнительный нагрев. Следить за повышением температуры по верхней шкале измерительного прибора. За 20–30 °С до предполагаемой температуры вспышки выключить дополнительный нагрев.

9. Переключатель скорости подъема температуры установить в положение, обеспечивающее скорость нарастания температуры не более 2 °С в минуту. До предполагаемой вспышки за 10–15 °С кратковременно, в течение 5 с, нажать кнопку вспышки. Включать кнопку через каждые 2 °С до появления вспышки, наблюдать ее визуально через смотровое стекло крышки блока. Показание измерительного прибора в момент вспышки соответствует температуре вспышки масла.

10. Повторное определение требуется проводить после охлаждения блока на 20–30 °С. Расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать 6 °С. За температуру вспышки принимается среднее значение двух определений.

Определение температуры вспышки топлива:

1. Если до определения температуры вспышки топлива испытывались масла, необходимо охладить блок до 50 °С. Если испытания масел не проводились, необходимо прогреть установку до 100–120 °С, сняв предварительно тигель и воспламенитель. Охладить блок до 50 °С.

2. Нагревание установки проводить, установив переключатель скорости подъема температуры в положение 5. Дополнительный нагрев не включать.

3. Пока идет нагревание установки заполнить тигель с меткой «1» исследуемым топливом до верхней кромки стержня или кольцевой канавки (в зависимости от конструкции тигля).

4. Установить заполненный тигель и воспламенитель в блок. Спираль воспламенителя должна находиться ниже верхнего края тигля на 0,2–0,4 мм. Закрывать блок крышкой.

5. Переключатель скорости подъема температуры установить в положение, обеспечивающее нарастание температуры 2 °С в минуту.

6. За 10 °С до предполагаемой вспышки, в течение 5 с, нажать кнопку воспламенителя. Включение кнопки повторять через каждые 2 °С до появления вспышки, наблюдая за ней через смотровое стекло крышки блока. В момент появления вспышки зафиксировать температуру по измерительному прибору.

7. Выключить прибор, снять тигель пинцетом и насухо протереть его.

8. Произвести повторные определения, предварительно охладив прибор до 50 °С. Расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать допускаемые расхождения между параллельными определениями согласно табл. 4.11. За температуру вспышки принимается среднее значение двух определений.

Таблица 4.11

Допускаемые расхождения между параллельными определениями

Температура вспышки, °С	Допускаемые расхождения, °С
Для нефтепродуктов	
До 104	2
Свыше 104	6
Для химических органических продуктов	
До 50	2
Свыше 50	3

9. Результаты измерений занести в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Таблица наблюдений

Номер опыта	Наименование жидкости	Показания термометра	Температура вспышки, °С	
			экспериментальная	расчетная

10. На основании полученных результатов определить разряд опасности легковоспламеняющейся жидкости.

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать результаты измерений и разряд опасности легковоспламеняющейся жидкости, решение задачи по индивидуальному заданию, предложенному преподавателем, с подробной аргументацией по выбору необходимых систем оповещения о пожаре, типов пожарных извещателей, первичных средств пожаротушения.

Примеры решения задач

Задача 1. Рассчитать температуру вспышки керосина.

Решение.

Температура дизельного топлива составляет 280 °С.

$$T_{\text{кип}} = 273 + 280 = 553 \text{ К},$$

$$T_{\text{всп}} = 553 \cdot 0,736 = 407 \text{ К},$$

или

$$T_{\text{всп}} = 407 - 273 = 134 \text{ °С}.$$

Температура кипения жидкостей, которые используются в лабораторной работе для определения температуры вспышки, приведена в табл. 4.4 [5].

Задача 2. Определить категорию помещения кладовой площадью 18×3 м и высотой до перекрытия $H = 3$ м. В кладовой хранится 90 кг резинотехнических изделий и 30 кг деталей из древесины на площади 10 м^2 .

Решение.

Определяем удельную пожарную нагрузку (ПН) по формуле (4.2), используя данные табл. 4.10:

$$q = \frac{33,52 \cdot 90 + 30 \cdot 13,8}{10} = \frac{3431}{10} = 343,1 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Согласно табл. 4.5 помещение предварительно относится к категории В3.

Для окончательного решения определим расчетную пожарную нагрузку:

$$0,64 - qH^2 = 0,64 \cdot 343,1 \cdot 3^2 = 1976 \text{ МДж}.$$

Количество ПН по формуле (4.2) $Q = 3431 \text{ МДж}$ и превышает расчетную ПН, т. е. $3431 > 1976 \text{ МДж}$, следовательно, категория помещения комплекточной кладовой в соответствии с требованиями принимается В2 [5].

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Исходя из находящихся в помещении веществ и материалов (табл. 4.13) определить категорию помещения по взрывопожарной и пожарной опасности (табл. 4.5).

Задача 2. Используя данные табл. 4.8, определить значения предельных расстояний между заданными участками.

Задача 3. Предложите систему (схему) пожарной сигнализации для помещения и выберите тип пожарных извещателей, которые необходимо установить в производственном помещении, используя информацию из прил. 2–4.

Таблица 4.13

Исходные данные для определения категории помещения
по взрывопожарной и пожарной опасности

Вариант	Наименование жидкости	Объем, л	Площадь помещения, м ²	Высота до перекрытия, м	Материалы	Вес, кг
1	Керосин	3	57	11,7	Древесина	30
					Плиты ППТ	10
2	Масло турбинное	250	100	12,5	Резина	80
					Деревянные поддоны	125
3	Скипидар живичный	4	17,5	7,2	Древесина	525
					Ткань х/б	85
4	Скипидар экстракционный	1	250	19,8	Древесина	10
					Ткань шерстяная	125
5	Скипидар сухоперегонный очищенный	20	540	10,5	Картон серый	200
					Резина пористая	75
6	Масло трансформаторное	250	12,5	12,5	Бумага разрыхленная	4
					Стеклопластик	7
					Древесина	68

Контрольные вопросы

1. Назовите причины возникновения пожаров.
2. Что такое пожаро- и взрывобезопасность веществ и материалов?
3. Что такое нижние и верхние концентрационные и температурные пределы распространения пламени?
4. Как подразделяются жидкости в зависимости от температуры вспышки?
5. Как можно рассчитать температуру вспышки жидкости?
6. Как производится категорирование помещений по взрывопожарной и пожарной опасности?
7. По каким параметрам классифицируются датчики?
8. Назовите схемы соединения извещателей.
9. Чем обуславливается выбор извещателя для конкретных условий?
10. Каковы принципы тушения пожаров?

Литература

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044–2018 ССБТ. – Введ. 01.12.2019. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2018. – 208 с.
2. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474–2013. – Введ. 15.04.13. – Минск : МЧС Республики Беларусь, 2013. – 57 с.
3. Пожарная безопасность зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.02-315–2018 (33020). – Введ. 01.09.2018. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2018. – 55 с.
4. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд. В 2 кн. / А. Н. Баратов [и др.]. – М. : Химия, 1990. – Кн. 1 – 496 с. ; Кн. 2 – 384 с.
5. Шатило, С. Н. Пожарная безопасность на железнодорожном транспорте : пособие для вузов / С. Н. Шатило, С. В. Дорошко, А. А. Еж. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 364 с.

Лабораторная работа №5

КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА МЕСТНОСТИ, В ЖИЛЫХ И РАБОЧИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Цель работы: изучить назначение, состав и порядок пользования приборами РКСБ-104 и РКС-107.

Приборы и оборудование:

1. Радиометр РКСБ-104 и его эмулятор.
2. Радиометр РКС-107.

Теоретический материал

Радиационная безопасность населения – состояние защищенности настоящего и будущих поколений людей от вредного воздействия ионизирующего излучения.

Ионизирующее излучение – излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе, образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков.

Источник ионизирующего излучения – устройство или радиоактивное вещество, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение.

Естественный радиационный фон – доза излучения, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов, естественно распределенных в земле, воде, воздухе, других элементах биосферы, пищевых продуктах и организме человека.

Техногенно измененный радиационный фон – естественный радиационный фон, измененный в результате деятельности человека.

Эффективная доза – величина воздействия ионизирующего излучения, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения организма человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности.

Санитарно-защитная зона – территория вокруг источника ионизирующего излучения, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения для населения.

Работники (персонал) – физические лица, работающие с источниками ионизирующего излучения или находящиеся по условиям работы в зоне их воздействия.

Медицинское облучение – облучение граждан (пациентов) при медицинском обследовании и лечении.

Потенциальное облучение – предполагаемое облучение, которое нельзя ожидать с абсолютной уверенностью, но которое может иметь место в результате ожидаемого при эксплуатации события, аварии с источником или события или последовательности событий вероятностного характера, включая отказы оборудования и ошибки во время эксплуатации.

Предел годового поступления – допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при монофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы облучения.

Предел дозы – величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

Природное облучение – облучение, которое обусловлено природными источниками излучения.

Природный источник излучения – источник ионизирующего излучения природного происхождения, на который распространяется действие санитарных норм и правил.

Профессиональное облучение – любое облучение работников в процессе выполняемой ими работы.

Радиационный мониторинг – измерение уровня дозы, мощности дозы или активности для оценки или контроля облучения в результате воздействия излучения или радиоактивных веществ, а также интерпретация результатов.

Ситуация аварийного облучения – ситуация облучения, которое возникает в результате аварии, злоумышленного действия или любого другого непредвиденного события и требует немедленных действий в целях недопущения или уменьшения неблагоприятных последствий.

Обращение с материалами и изделиями, загрязненными или содержащими радионуклиды. Материалы и изделия с низкими уровнями содержания радионуклидов допускается использовать в хозяйственной деятельности.

Критерием для принятия решения о возможном применении в хозяйственной деятельности сырья, материалов и изделий, содержащих радионуклиды, является ожидаемая индивидуальная годовая эффективная доза облучения, которая при планируемом виде их использования не должна превышать 10 мкЗв, а годовая коллективная эффективная доза не должна быть более 1 человеко-зиверта.

Не вводятся никаких ограничений на использование в хозяйственной деятельности любых твердых материалов, сырья и изделий при удельной активности радионуклидов в них менее 0,3 кБк/кг и мощности дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м менее 0,2 мкГр/ч над фоном. По согласованию с главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь или его заместителями для отдельных бета-излучающих радионуклидов могут быть установлены более высокие значения удельной активности сырья, материалов и изделий, годных для неограниченного использования.

Сырье, материалы и изделия с удельной бета-активностью от 0,3 до 100 кБк/кг, или с удельной альфа-активностью от 0,3 до 10 кБк/кг, или с содержанием трансураниевых радионуклидов от 0,3 до 1,0 кБк/кг, или создающих мощность дозы гамма-излучения от 0,2 до 1,0 мкГр/ч над фоном, могут ограниченно исполь-

зоваться только по согласованию с органами или учреждениями, осуществляющими государственный санитарный надзор. Эти материалы подлежат обязательному радиационному контролю.

Облучение населения. Требования по обеспечению радиационной безопасности населения распространяются на регулируемые природные источники излучения: изотопы радона и продукты их распада в воздухе помещений, гамма-излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных изделиях, природные радионуклиды в питьевой воде, удобрениях и полезных ископаемых.

Относительную степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз от природных источников излучения:

- менее 2 мЗв/год – облучение не превышает средних значений доз для населения страны от природных источников излучения;
- от 2 до 5 мЗв/год – повышенное облучение;
- более 5 мЗв/год – высокое облучение.

Дозы ионизирующего излучения. Поглощенная доза ионизирующего излучения D равна отношению средней энергии dE , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = \frac{dE}{dm}. \quad (5.1)$$

В системе СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название – грэй (Гр).

Грэй равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж.

Любая доза является интегральной по времени характеристикой. Скорость накопления дозы характеризуется понятием мощность дозы – это отношение приращения дозы dD за некоторый промежуток времени dt к этому интервалу времени:

$$P_D = \frac{dD}{dt}. \quad (5.2)$$

Мощность поглощенной дозы в СИ измеряется в единицах грэй в секунду (Гр/с). Также используются производные единицы – Гр/мин, мкГр/ч и т. п.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения H – произведение поглощенной дозы D на средний коэффициент качества K ионизирующего излучения в данном элементе объема биологической ткани стандартного состава:

$$H = K \cdot D. \quad (5.3)$$

Численные значения коэффициентов качества для различных излучений приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Коэффициенты качества для различных видов излучений

Виды излучений	<i>K</i>
Рентгеновское и γ -излучение	1
Электроны и мюоны	1
Нейтроны с энергией:	
менее 10 кэВ	5
от 10 до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра отдачи	20

Единицей измерения эквивалентной дозы излучения является зиверт (Зв), который равен 1 Дж/кг. Отметим, что для рентгеновского, бета- и гамма-излучения численные значения поглощенной и эквивалентной дозы совпадают.

Эквивалентная доза более адекватно учитывает возможный ущерб здоровью человека от воздействия ионизирующего излучения произвольного состава. Однако необходимо принять во внимание и тот факт, что одни части тела (органы, ткани) более чувствительны к действию радиации, чем другие. Например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Для учета неодинаковой чувствительности различных органов к радиации вводится специальная дозовая характеристика – эффективная эквивалентная доза.

Мощность экспозиционной дозы фонового гамма-излучения, типичная для равнинных территорий, сложенных осадочными породами, соответствует 10–20 мкР/ч (или 0,1–0,2 мкЗв/ч для мощности эквивалентной дозы). Такой фон характерен для территории Беларуси.

Эквивалентная доза ($H_{T,R}$) – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения:

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R},$$

где $D_{T,R}$ – поглощенная доза от излучения типа R , усредненная по ткани или органу T ;

W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R .

Эквивалентная доза отражает размер наносимого вреда. При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы (W_i) – множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые

в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов

Ткань	W_t	$\sum W_t$
Красный костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок, молочная железа, остальные ткани	0,12	0,72
Гонады	0,08	0,08
Мочевой пузырь, пищевод, печень, щитовидная железа	0,04	0,16
Костная поверхность, кожа, головной мозг, слюнные железы	0,01	0,04

Граничная доза – заблаговременно введенное ограничение индивидуальной дозы облучения от данного источника, обеспечивающее базовый уровень защиты для большинства лиц, облучаемых данным источником в повышенных дозах и служащее для установления верхней границы дозового диапазона, внутри которого проводится оптимизация защиты для данного источника излучения.

Коллективная эффективная доза – мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, которая равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы – человеко-зиверт (чел.-Зв);

Ожидаемая доза – доза в течение жизни, ожидаемая от поступления радионуклидов.

Техногенное облучение – облучение от техногенных источников как в нормальных, так и в аварийных условиях, за исключением медицинского облучения пациентов.

Ионизационная камера. Ионизационная камера – прибор для исследования и регистрации ядерных частиц и излучения, действие которого основано на способности быстрых заряженных частиц вызывать ионизацию газа.

Ионизационной камерой (рис. 5.1) измеряют или ионизационный ток, или заряды электричества, возникающие в газовом объеме. Для разделения разноименных зарядов к газовому объему прикладывают определенную разность потенциалов. Электрическое напряжение подают на элементы ионизационной камеры, называемые электродами. Они ограничивают рабочий объем ионизационной камеры, т. е. тот объем газа, через который протекает ионизационный ток. Напряжение на электродах каждой конкретной ионизационной камеры обуславливается конструкцией, давлением и природой газа-наполнителя. Оно должно обеспечивать протекание через газ тока насыщения. При таком напряжении все ионы, образованные ядерным излучением в рабочем объеме, попадают на электроды, а ионизационная камера характеризуется максимальной чувствительностью.

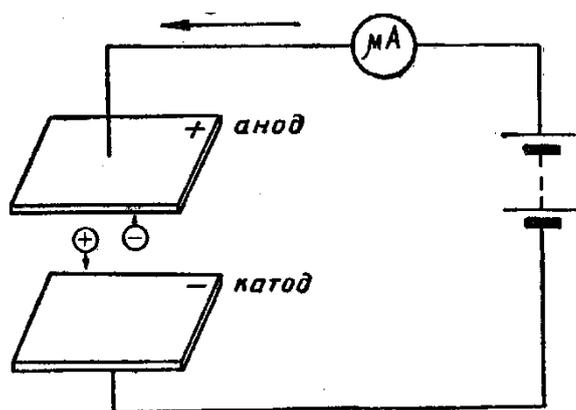


Рис. 5.1. Схема ионизационной камеры

Под чувствительностью детектора понимают минимальный ионизационный ток, который можно измерить с помощью детектора. Чем выше чувствительность, тем меньшую интенсивность излучения обнаруживает детектор. Высокочувствительными ионизационными камерами измеряются токи до 10^{-15} А.

Ионизационные камеры работают при напряжениях, соответствующих тихому несамостоятельному разряду в газе, как правило, в области тока насыщения. Рабочее напряжение выбирают на середине плато.

Счетчик Гейгера – Мюллера. Счетчик Гейгера (или счетчик Гейгера – Мюллера) – газонаполненный счетчик заряженных элементарных частиц, электрический сигнал с которого усилен за счет вторичной ионизации газового объема счетчика и не зависит от энергии, оставленной частицей в этом объеме. Изобретен в 1908 г. Х. Гейгером и Э. Резерфордом, позднее усовершенствован Х. Гейгером и В. Мюллером. Счетчики Гейгера – Мюллера – самые распространенные детекторы (датчики) ионизирующего излучения.

Счетчик Гейгера – Мюллера – газоразрядный прибор для обнаружения и исследования различного рода радиоактивных и других ионизирующих излучений: α - и β -частиц, γ -квантов, световых и рентгеновских квантов, частиц высокой энергии в космических лучах и на ускорителях. Гамма-кванты регистрируются счетчиком Гейгера – Мюллера по вторичным ионизирующим частицам – фотоэлектронам, комптоновским электронам, электронно-позитронным парам; нейтроны регистрируются по ядрам отдачи и продуктам ядерных реакций, возникающим в газе счетчика. Работает счетчик при напряжениях, соответствующих самостоятельному коронному разряду.

Этот счетчик обладает практически стопроцентной вероятностью регистрации заряженной частицы, т. к. для возникновения разряда достаточно одной электрон-ионной пары.

Конструктивно счетчик Гейгера представляет собой конденсатор (как правило, цилиндрический) с сильно неоднородным электрическим полем. К внутреннему электроду (тонкой металлической нити) приложен положительный потенциал (анод), к внешнему – отрицательный (катод). Электроды заключены в герметически замкнутый резервуар, наполненный каким-либо газом до давления

13–26 кВ/м² (100–200 мм рт. ст.). К электродам счетчика прикладывается напряжение несколько сотен вольт. На нить подается знак положительного напряжения через сопротивление R (рис. 5.2).

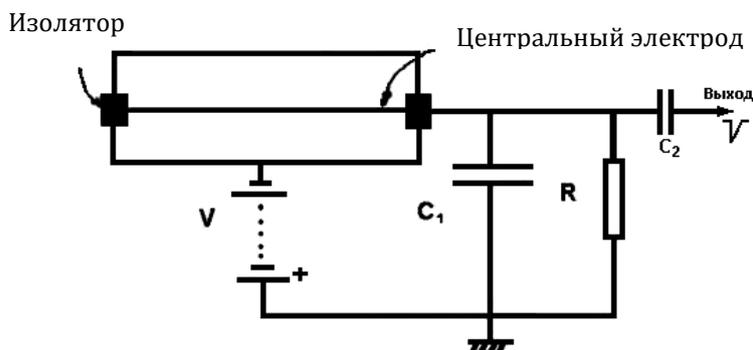


Рис. 5.2. Схема включения счетчика Гейгера

Функционально счетчик Гейгера также повторяет пропорциональный счетчик, но отличается от последнего тем, что за счет более высокой разности потенциалов на электродах работает в таком режиме, когда достаточно появления в объеме детектора одного электрона, чтобы развился мощный лавинообразный процесс, обусловленный вторичной ионизацией (газовое усиление), который способен ионизовать всю область вблизи нити-анода. При этом импульс тока достигает предельного значения (насыщается) и не зависит от первичной ионизации. Развиваясь лавинообразно, этот процесс завершается образованием в межэлектродном пространстве электронно-ионного облака, резко увеличивающего его проводимость. По существу, при попадании в счетчик Гейгера частицы в нем вспыхивает (зажигается) самостоятельный газовый разряд, видимый (если баллон прозрачный) даже простым газом. При этом коэффициент газового усиления может достигать 10^{10} , а величина импульса десятков вольт. Возникает вспышка коронного разряда и через счетчик течет ток.

Распределение электрического поля в счетчике таково, что разряд развивается лишь вблизи анода счетчика на расстоянии нескольких диаметров нити. Электроны быстро скапливаются на нити (не более 10^{-6} с), вокруг которой образуется «чехол» из положительных ионов. Положительный пространственный заряд увеличивает эффективный диаметр анода и снижает тем самым напряженность поля, поэтому разряд прерывается. По мере удаления слоя положительных ионов от нити его экранирующее действие ослабляется, и напряженность поля вблизи анода становится достаточной для образования новой вспышки разряда. Положительные ионы, приближаясь к катоду, выбивают из последнего электроны, в результате чего образуются нейтральные атомы инертного газа в возбужденном состоянии. Возбужденные атомы при достаточном приближении к катоду выбивают из его поверхности электроны, которые становятся родоначальниками новых лавин. Без внешнего воздействия такой счетчик находился бы в длительном прерывистом разряде.

Таким образом, при достаточно большом R (10^8 – 10^{10} Ом) на нити скапливается отрицательный заряд и разность потенциалов между нитью и катодом

быстро падает, в результате чего разряд обрывается. После этого чувствительность счетчика восстанавливается через 10^{-1} – 10^{-3} с (время разрядки емкости C через сопротивление R). Именно такое время требуется, чтобы медленные положительные ионы, заполнившие пространство вблизи нити-анода после пролета частицы и прохождения электронной лавины, ушли к катоду, и восстановилась чувствительность детектора. Такое большое время нечувствительности неудобно для многих применений.

Основными характеристиками счетчика являются: счетная характеристика – зависимость скорости счета от величины рабочего напряжения; эффективность счетчика – выраженное в процентах отношение числа считаемых частиц к числу всех частиц, попадающих в рабочий объем счетчика; разрешающее время – минимальный интервал времени между импульсами, при котором они регистрируются раздельно и срок службы счетчиков.

Отрезок времени, необходимый для восстановления радиационной чувствительности счетчика Гейгера и фактически определяющий его быстродействие, – «мертвое» время – является его важной паспортной характеристикой.

Каждая фиксируемая счетчиком частица вызывает появление в его выходной цепи короткого импульса. Число импульсов, возникающих в единицу времени, – скорость счета счетчика Гейгера – зависит от уровня ионизирующей радиации и напряжения на его электродах.

Галогеновые самогасящиеся счетчики отличаются самым низким напряжением питания, превосходными параметрами выходного сигнала и достаточно высоким быстродействием. Они оказались особенно удобными для применения в качестве датчиков ионизирующего излучения в бытовых приборах радиационного контроля.

Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений РКСБ-104 предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях. Он выполняет функции дозиметра и радиометра, обеспечивает возможность измерения:

- мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения;
- плотности потока бета-излучения с поверхности;
- удельной активности вещества по радионуклиду цезий-137, а также звуковой сигнализации при превышении порогового значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, установленного потребителем.

Диапазон измерений мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения составляет 0,1–99,99 мкЗв/ч (что соответствует мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, 10–9999 мкР/ч).

Диапазон измерений плотности потока бета-излучения с поверхности по радионуклидам стронция-90 и иттрия-90 составляет 0,1–99,99 $\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$.

Диапазон измерений удельной активности радионуклида цезий-137 составляет $2 \cdot 10^3$ – $2 \cdot 10^6$ Бк/кг.

На лицевой панели (рис. 5.3) прибора предусмотрены окно для индикатора и три тумблера для включения прибора и выбора режима его работы (S_1 , S_2 и S_3).

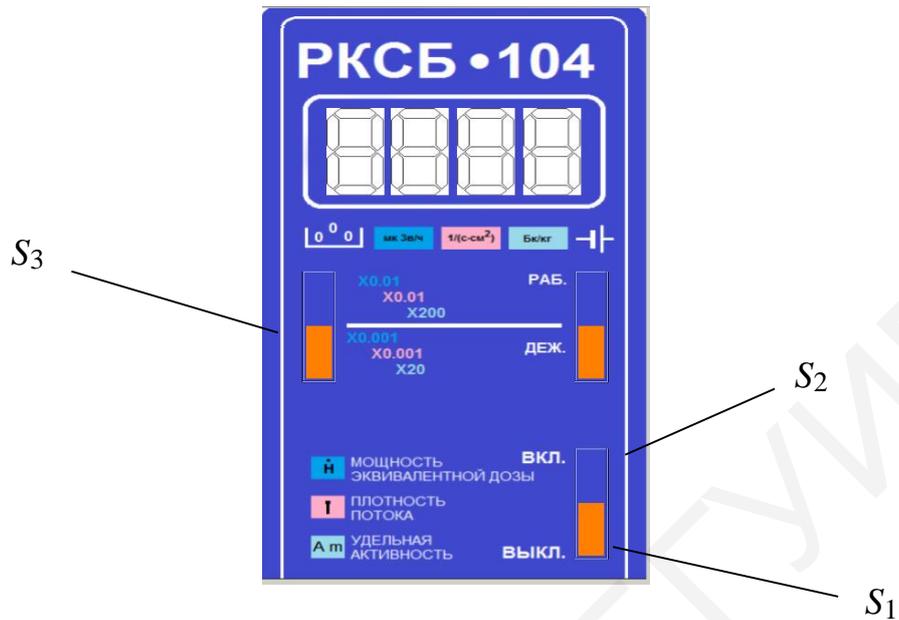


Рис. 5.3. Лицевая панель РКСБ-104 (эмулятор)

На тыльной стороне (рис. 5.4) прибора предусмотрена крышка-фильтр для выравнивания энергетической зависимости показаний прибора при его работе в режиме измерения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения. При работе прибора в режиме радиометра эта крышка снимается, счетчики излучений оказываются закрытыми только пленочными фильтрами. Под крышку-фильтр выведены движки кодового переключателя, с помощью которого можно выбрать вид измерения (мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения, плотности потока бета-излучения с поверхности, удельной активности радионуклида цезий-137 в веществе), установить пороги срабатывания сигнализации, а также отключить встроенные счетчики СБМ20 и подключить внешний блок детектирования излучений.

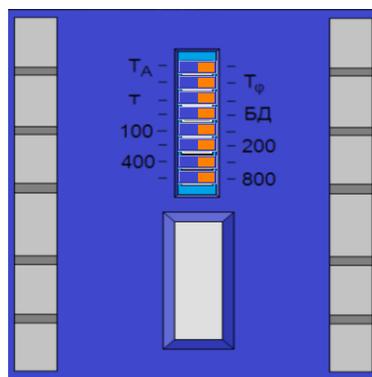


Рис. 5.4. Тыльная сторона РКСБ-104 (эмулятор)

Отсчетным устройством прибора является жидкокристаллический индикатор, на табло которого при измерениях индицируются 4-разрядные числа – от 0000 до 9999.

В качестве показания прибора (или отсчета показания – при необходимости снятия нескольких отсчетов) принимается цифровая величина, являющаяся значащей частью 4-разрядного числа, устанавливающегося на табло после окончания цикла измерения.

Таблица 5.3

Коэффициенты пересчета показаний прибора

Измеряемая величина	Обозначение	Единица измерения	Значение пересчетных коэффициентов для разных поддиапазонов измерений	
			для верхнего положения тумблера S_3	для нижнего положения тумблера S_3
1. Мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения	H	мкЗв/ч	0,01	0,001
2. Плотность потока бета-излучения с поверхности	φ	$1/(с \cdot см^2)$	0,01	0,001
3. Удельная активность вещества по радионуклиду цезий-137	A_m	Бк/кг	200	20

Выполнение лабораторной работы

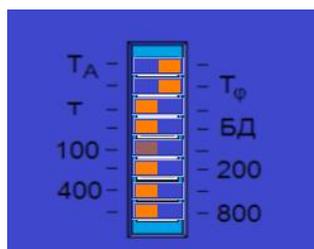
Ход работы:

1. Измерить мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения (см. табл. 5.4).

Таблица 5.4

Измерение мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения

РКСБ-104	Эмулятор РКСБ-104
Снимите заднюю крышку-фильтр	Нажмите кнопку «Открыта»
Переведите движки кодового переключателя в положения, показанные на рис. 5.5	
Установите крышку-фильтр на прежнее место	Нажмите кнопку «Закрыта»
Переведите тумблер S_2 в верхнее положение	
Включите прибор тумблером S_1 , переведя его в положение «ВКЛ.». Через определенное время (20–300 с) прибор выдает прерывистый звуковой сигнал, а на табло жидкокристаллического индикатора индицируется и отображается 4-разрядное число. Для определения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения умножьте значащую часть этого числа на пересчетный коэффициент (см. табл. 5.3) – и вы получите результат в микрозивертах в час (мкЗв/ч)	Включите прибор тумблером S_1 , переведя его в положение «ВКЛ.». Через определенное время (20–300 с) появится сообщение «эмуляция завершена», а на табло жидкокристаллического индикатора индицируется и отображается 4-разрядное число. Для определения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения умножьте значащую часть этого числа на пересчетный коэффициент (см. табл. 5.3) – и вы получите результат в микрозивертах в час (мкЗв/ч)



Положение движков
«100», «200», «400», «800»
может быть произвольным

Рис. 5.5. Положения движков для измерения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения

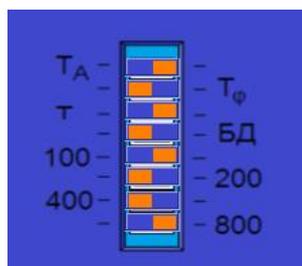
Показания прибора и рассчитанное значение мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения занести в отчет.

2. Измерить загрязненность поверхностей бета-излучающими радионуклидами (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Измерение загрязненности поверхностей бета-излучающими радионуклидами

РКСБ-104	Эмулятор РКСБ-104
Снимите заднюю крышку-фильтр	Нажмите кнопку «Открыта»
Переведите движки кодового переключателя в положения, показанные на рис. 5.6	
Установите крышку-фильтр на прежнее место	Нажмите кнопку «Закрыта»
Переведите тумблер S_2 в верхнее положение	
Поднесите прибор к исследуемой поверхности, удалив прибор от этой поверхности на расстояние 110–120 см. Включите прибор тумблером S_1 , установив его в положение «ВКЛ.»	Включите прибор тумблером S_1 , установив его в положение «ВКЛ.»
Снимите фоновое показание прибора, которое установится на табло. Запишите показание прибора в отчет ($\varphi_{\text{ф}}$)	
Выключите прибор, установив тумблер S_1 в положение «ВЫКЛ.»	
Снимите заднюю крышку-фильтр и поместите прибор над исследуемой поверхностью на расстояние не более 1 см	Нажмите кнопку «Открыта»
Включите прибор тумблером S_1 . Запишите показание прибора, установившееся во время действия прерывистого звукового сигнала ($\varphi_{\text{и}}$)	Включите прибор тумблером S_1 . Запишите установившееся показание прибора ($\varphi_{\text{и}}$)
<p>Определите величину загрязненности поверхности бета-излучающими радионуклидами, которая характеризуется величиной плотности потока бета-излучения с поверхности φ, по формуле</p> $\varphi = K_1 (\varphi_{\text{и}} - \varphi_{\text{ф}}),$ <p>где K_1 – коэффициент, определяется по табл. 5.3</p>	



Положение движков
«100», «200», «400», «800»
может быть произвольным

Рис. 5.6. Положения движков для измерения загрязненности поверхностей бета-излучающими радионуклидами

Показания прибора и рассчитанное значение загрязненности поверхностей бета-излучающими радионуклидами занести в отчет.

Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения прибором РКС-107.

Включите прибор, нажав кнопку «ВКЛ». При каждом включении прибора раздается кратковременный звуковой сигнал. Указатель режима работы прибора при включении устанавливается в положение «мкЗв/ч».

Нажмите кнопку «ПУСК». При каждом нажатии кнопки также раздается кратковременный звуковой сигнал, а на табло жидкокристаллического индикатора появляется точка. Указатель режима работы начнет пульсировать, а прибор начнет регистрировать измеряемую величину, в данном случае – величину мощности амбиентной эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения в микрозивертах в час.

В конце цикла измерения (через (53 ± 2) с) вновь раздается кратковременный звуковой сигнал, указатель режима прекратит пульсировать, а на табло отобразится результат измерения.

При малых значениях мощности амбиентной эквивалентной дозы для получения более точного результата измерения целесообразно снять несколько отсчетов показаний прибора, записать их и за измеренное значение принять их среднее арифметическое. При этом выключать и повторно включать прибор нет необходимости – после индикации результата измерения одного отсчета нужно лишь вновь нажать кнопку «ПУСК» и дождаться повторного результата измерения.

Рекомендуется снимать и усреднять не менее пяти отсчетов показаний.

Выключите прибор, нажав кнопку «ВЫКЛ».

Измерение загрязненности поверхностей бета-излучающими радионуклидами прибором РКС-107.

Включите прибор, нажав кнопку «ВКЛ». Нажимая кнопку «РЕЖИМ», установите указатель режима работы прибора в положение « $1/(с \cdot см^2)$ ».

Расположив прибор относительно исследуемой поверхности на расстоянии не менее 150 см, нажмите кнопку «ПУСК». В конце цикла измерения (через $(37 \pm 1,0)$ с) раздается кратковременный звуковой сигнал, указатель режима прекратит пульсировать, а на табло отобразится результат измерения, снимите отсчет фонового показания прибора и запишите результат.

Повторите измерения не менее пяти раз и найдите среднее арифметическое отсчетов показаний ($\varphi_{\text{ф}}$) в бета-частицах в секунду с квадратного сантиметра. Выключите прибор, нажав кнопку «ВЫКЛ».

Снимите заднюю крышку-фильтр. Поднесите прибор к исследуемой поверхности на расстояние не более 1 м от нее. Включите прибор кнопкой «ВКЛ», кнопкой «РЕЖИМ» установите режим «1/(с·см²)», затем нажмите кнопку «ПУСК». Снимите отсчет показания прибора и запишите результат.

При малых значениях измеряемой величины плотности потока излучения с поверхности рекомендуется снимать не менее пяти отсчетов показаний и находить их среднее арифметическое ($\varphi_{\text{п}}$).

Определите загрязненность поверхности бета-излучающими радионуклидами, характеризующуюся величиной плотности потока бета-частиц с поверхности (φ) по формуле

$$\varphi = \varphi_{\text{п}} - \varphi_{\text{ф}}.$$

Примеры решения задач

Задача 1. Известно, что погрешность прибора РКСБ-104 в поддиапазоне от 0,1 до 1 мкЗв/ч составляет $\pm 40\%$, в поддиапазонах от 1 до 10 мкЗв/ч и от 10 до 99,9 мкЗв/ч составляет $\pm 25\%$.

Рассчитать максимальные показания прибора РКСБ-104, которые будут соответствовать благополучной радиационной обстановке (H_6) (складывается из искусственного и естественного фона), которые не будут считаться повышенными ($H_{\text{п}}$) и высокими ($H_{\text{в}}$) в соответствии с СанПиН 2.6.2.11-4-2005 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения» [1] и Гигиеническим нормативом «Критерии оценки радиационного воздействия» [2].

Решение.

На основании [1] облучение населения природными источниками ионизирующего излучения (естественное облучение) считается повышенным, если эффективная доза за счет всех основных природных источников ионизирующего излучения составляет от 2 до 5 мЗв/год; если дозы облучения населения превышают 5 мЗв/год, то облучение населения является высоким.

Радиационная обстановка на предприятии является благополучной, если максимальные дозы на рабочих местах не превышают 1 мЗв/год в соответствии с [2] (искусственное облучение) (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Основные пределы доз облучения

Нормируемые величины	Пределы доз	
	персонал	население
Эффективная доза	20 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв/год	1 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв/год

Задача 2. Известно, что погрешность прибора РКСБ-104 в поддиапазоне от 0,1 до 1 $1/(с \cdot см^2)$ составляет $\pm 60\%$, в поддиапазонах от 1 до 10 $1/(с \cdot см^2)$ и от 10 до 99,9 $1/(с \cdot см^2)$ составляет $\pm 40\%$.

Рассчитать максимальные показания прибора РКСБ-104, которые будут соответствовать допустимым уровням радиоактивного загрязнения спецбелья в соответствии с [2] (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и средств индивидуальной защиты, $1/(см^2 \cdot мин)$

Объект загрязнения	Альфа-активные нуклиды		Бета-активные нуклиды
	отдельные	прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотенца, внутренняя поверхность лицевых частей средств индивидуальной защиты	2	2	200

Задачи для самостоятельной работы

Получить у преподавателя номер варианта.

Задача 1. Измерить мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения. Занести полученные данные в табл. 5.8.

Задача 2. Измерить плотность потока бета-излучения с поверхности. Занести полученные данные в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Результаты измерений

Измеряемая величина	Значение, показанное прибором		Значение измеряемой величины (расчетное)	Единицы измерения	Выводы
	Φ_{ϕ}	$\Phi_{и}$			
Мощность полевой эквивалентной дозы гамма-излучения					
—	Φ_{ϕ}	$\Phi_{и}$	—		—
Плотность потока бета-излучения					
—	$A_{\phi n}$	A_n	—		—

Задача 3. Рассчитать значения измеренных величин и занести их в табл. 5.8. Сделать выводы о полученных результатах.

Контрольные вопросы

1. Что характеризует поглощенная доза облучения, как она рассчитывается и в каких единицах измеряется?
2. Поясните, что учитывает эквивалентная доза облучения, и перечислите единицы ее измерения.
3. Что понимают под мощностью дозы облучения и в каких единицах ее измеряют?

Литература

1. СанПиН 2.6.2.11-4–2005 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения».
2. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к радиационной безопасности» и Гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия» : Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 г. №213.

Лабораторная работа №6

ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: измерить объемную активность радионуклидов в пробах строительных материалов и удельную активность продуктов питания по радионуклиду цезий-137.

Приборы и оборудование:

1. Радиометр РУГ «АДАНИ».
2. Радиометр РКС-107.
3. Радиометр РКСБ-104 и его эмулятор.

Теоретический материал

Радиационная опасность обусловлена воздействием на окружающую среду ионизирующих излучений, которые составляют часть общего понятия радиация (от лат. *radiatio* – излучение), включающего в себя потоки фотонов, элементарных частиц или атомных ядер, способные ионизировать вещество.

Развитие жизни на Земле всегда происходило под воздействием естественного радиационного фона окружающей среды. Поэтому есть основание полагать, что живые организмы достаточно хорошо приспособлены к воздействию различных видов излучений, при условии, что ее уровень не слишком высок. По этой причине уровни облучения человека от естественного фона служат базой при сравнении облучения от искусственных источников ионизирующего излучения.

Естественный фон обусловлен космическим излучением и излучением естественно распределенных природных радиоактивных веществ (в горных породах, почве, атмосфере), а также в тканях человека. Космическое излучение подразделяется на первичное (поток протонов и альфа-частиц, попадающих в земную кору из межзвездного пространства) и вторичное излучение в результате ионизации воздушных слоев атмосферы.

Естественный фон создает внешнее и внутреннее облучения. Внешнее облучение создается за счет воздействия на организм излучений от внешних по отношению к нему источников (космическое излучение и естественные радионуклиды в горных породах, почве, атмосфере), внутреннее облучение – за счет воздействия на организм излучений радионуклидов, находящихся в организме (калий-40 и радионуклиды семейства урана и тория), поступающих в организм с воздухом, водой, пищей.

Мощность дозы естественного фона зависит от высоты над уровнем моря, широты местности, солнечной активности. По данным исследований суммарная индивидуальная годовая эффективная доза облучения от естественного фона на уровне моря для населения нашей страны составляет 1 мЗв.

Вторая составляющая фонового облучения людей обусловлена естественными радионуклидами, связанными с добычей полезных ископаемых, использованием строительных материалов, сжиганием ископаемого топлива (угля), использованием минеральных удобрений, содержащих радионуклиды уранового и ториевого ряда, которые в сумме формируют искусственный радиационный фон, дающий суммарную индивидуальную годовую эффективную дозу облучения 1 мЗв.

Третья составляющая облучения – медицинское облучение. Здесь наибольший вклад вносят рентгенодиагностические облучения в медицине, которые дают годовую эффективную дозу для практически здоровых лиц не более 1 мЗв.

Катастрофа на Чернобыльской АЭС резко изменила сложившуюся ситуацию по формированию радиационного фона. Усилилась опасность более широкого внутреннего загрязнения организма радионуклидами, поступающими с продуктами питания, питьевой водой, другими материалами, что требует изучения методов радиометрического и дозиметрического контроля указанных источников радионуклидов.

Радиоактивность. Устойчивость атомного ядра обусловлена действующими между нуклонами ядерными силами притяжения. Эти силы в пределах размера ядра во много раз превосходят кулоновские силы отталкивания одинаково заряженных частиц – протонов. Однако у некоторых элементов ядерные силы притяжения не способны обеспечить полную устойчивость ядер. Вследствие этого такие элементы становятся радиоактивными.

Радиоактивность – это свойство неустойчивых атомных ядер данных химических элементов самопроизвольно превращаться в ядра атомов других химических элементов с испусканием одного или нескольких ионизирующих частиц. Процесс такого спонтанного ядерного превращения называется *радиоактивным распадом*.

Радиоактивность может быть естественной и искусственной. Естественной называется радиоактивность неустойчивых природных изотопов – тяжелых ядер элементов, расположенных в периодической таблице за свинцом ($Z > 82$). Искусственной называется радиоактивность изотопов, полученных в ядерных реакторах, на ускорителях, при ядерных взрывах.

Самопроизвольный распад атомных ядер сопровождается испусканием гамма-лучей, нейтронов, альфа-, бета- и других частиц. Уменьшение числа радионуклидов в веществе происходит по экспоненциальному закону:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (6.1)$$

где N – число радиоактивных ядер за время t ;

N_0 – число радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$;

λ – постоянная времени распада.

Постоянная распада характеризует вероятность распада радиоактивных ядер за единицу времени, а также показывает продолжительность жизни радионуклида.

Скорость радиоактивного распада принято характеризовать периодом полураспада ($T_{1/2}$). Период полураспада – это время, в течение которого исходное количество ядер данного вещества распадается наполовину, т. е. $N = N_0/2$.

Связь между $T_{1/2}$ и λ вытекает из выражения (6.1). Если $e^{-\lambda \cdot T_{1/2}} = \frac{1}{2}$, то

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (6.2)$$

Периоды полураспада у различных радиоактивных ядер весьма различны – от долей секунды до сотен тысяч лет.

Число распадов ядер данного вещества в единицу времени характеризует активность вещества. Активность радиоактивного вещества A определяется скоростью распада:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \text{ или } A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (6.3)$$

где A_0 – радиоактивность вещества в начальный момент времени ($A_0 = \lambda \cdot N_0$).

В СИ за единицу активности вещества принят беккерель (Бк). Один беккерель равен активности нуклида, при которой за одну секунду происходит один распад. Эта единица активности мала, поэтому используют кратные ей единицы: килобеккерель (кБк) и мегабеккерель (МБк). Ранее использовалась внесистемная единица активности кюри (Ки). Такой активностью обладает 1 г радия, в котором за одну секунду происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов.

Если радионуклиды распределены по объему вещества (в продуктах питания, питьевой воде и т. д.) или по его поверхности, то пользуются соответственно объемной $A_{об}$ (Бк/м³, Бк/л) и поверхностной A_s (Бк/м²) активностью. Для оценки загрязнения продуктов питания используют также удельную активность A_m (Бк/кг).

Виды ионизирующих излучений. Ионизирующее излучение – это потоки частиц и электромагнитных волн, взаимодействие которых с веществом приводит к ионизации атомов вещества.

Основными видами излучений являются потоки альфа- и бета-частиц, гамма- и рентгеновские излучения. Заряженные частицы ионизируют вещество непосредственно при столкновениях с его атомами (первичная ионизация). Выбитые электроны из атомов среды могут ионизировать и другие атомы (вторичная ионизация) при условии, что они обладают необходимой для этого энергией. Энергию частиц ионизирующего излучения измеряют в электрон-вольтах (эВ). Один электрон-вольт равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Используются кратные единицы кэВ, МэВ, ГэВ.

Альфа-излучение представляет собой ядро гелия с положительным зарядом. Альфа-частица характеризуется длиной пробега (для воздуха она составляет до 9 см, а в биологической ткани до 10^{-3} см), а также кинетической энергией в пределах 2–9 МэВ. Проходя через вещество, альфа-частица тормозится за счет ионизации или возбуждения атомов. При этом имеет место потеря кинетической энергии

альфа-частицей на единице пути, называемая ионизационными потерями. Большие ионизационные способности альфа-частиц обуславливают их низкую проникающую способность.

Бета-излучение – поток электронов (β^-) или позитронов (β^+), испускаемых веществом при распаде радиоактивного ядра. Бета-частицы характеризуются теми же параметрами, что и альфа-частицы. Пробег бета-частиц в воздухе составляет до 20 м, в биологической ткани – до 1 см. Ионизационные потери бета-частиц меньше по сравнению с альфа-частицами, а их проникающая способность бóльшая.

Бета-частицы, проходя через вещество, взаимодействуют также с ядрами вещества. Потери энергии частицы при взаимодействии с ядрами вещества невелики. Это объясняется тем, что масса бета-частицы меньше массы ядра и число ядер в веществе во много раз меньше числа электронов. Потери энергии бета-частицы при взаимодействии с ядром называют *радиационными потерями*.

Кроме того, за счет заряда протонов вокруг ядра создается кулоновское поле. Под действием кулоновских сил заряженная бета-частица, имея малую массу, получает ускорение. Согласно классической электродинамике любая заряженная частица, движущаяся с ускорением, излучает электромагнитные волны. Это излучение называют тормозным, а длина его волны соответствует длине волны рентгеновского излучения.

Гамма-излучение – коротковолновое электромагнитное излучение с длиной волны $\lambda \leq 10^{-6}$ мкм, которое обладает ярко выраженными корпускулярными свойствами, т. е. является потоком гамма-квантов (фотонов), испускаемых при радиоактивном распаде ядра. Энергия гамма-квантов (E_γ) составляет от 10 кэВ до 5 МэВ.

При прохождении через однородную среду ослабление пучка гамма-излучения происходит по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}, \quad (6.4)$$

где I_0 – начальная интенсивность пучка;

I – интенсивность пучка после прохождения слоя вещества толщиной x ;

μ – линейный коэффициент ослабления.

Поглощение гамма-квантов в веществе определяется тремя процессами: фотоэффектом, комптоновским рассеянием и рождением пар электрон – позитрон в кулоновском поле ядра.

Фотоэффект имеет место при приблизительном равенстве энергии гамма-кванта $E_{\gamma\text{-кв}}$ и связи электрона с ядром атома (энергии связи атома $E_{\text{св.ат}}$), т. е.

$$E_{\gamma\text{-кв}} \approx E_{\text{св.ат}}. \quad (6.5)$$

В этом случае энергия гамма-кванта поглощается атомными электронами, которые могут покинуть пределы атома или сместиться на другие орбиты. В первом случае атом переходит в состояние иона, а во втором – в возбужденное состояние. Ионом называют атом с недостатком или избытком электронов на орбитах. Однако ион или возбужденный атом будет стремиться перейти в нейтральное состояние, испуская при этом квант рентгеновского излучения.

Если $E_{\gamma\text{-кв}} > E_{\text{св.ат}}$, основным процессом поглощения гамма-квантов в веществе становится комптоновское рассеяние. В этом случае гамма-квант передает часть энергии свободному электрону, изменяет первоначальное направление и с меньшей энергией продолжает движение, излучая электромагнитную энергию на более длинной волне. Интенсивность комптоновского рассеяния пропорциональна числу свободных электронов в веществе.

Если энергия гамма-кванта в 1,02 МэВ больше энергии связи атома, то в кулоновском поле ядра при взаимодействии с ним гамма-кванта образуется пара электрон – позитрон. Образовавшиеся электрон и позитрон теряют свою энергию на ионизацию атомов вещества. В случае столкновения электрона с позитроном образуется два новых гамма-кванта.

Таким образом, прохождение всех радиоактивных излучений через вещество приводит к ионизации его атомов. В связи с этим радиоактивные излучения называют ионизирующими.

Детекторы ионизирующего излучения. Основным элементом любого блока регистрации количественных характеристик радиоактивного излучения является детектор. Принцип работы и устройство детектора определяются характером и результатом взаимодействия вида излучения с веществом. Детектирование радиоактивного излучения основано на регистрации процессов в веществе при прохождении через него излучения. К таким процессам относятся: ионизация и возбуждение атомов вещества; световые вспышки; засвечивание химических растворов и др. Однако наиболее удобным является преобразование информации об излучении в электрические сигналы.

По методу регистрации детекторы разделяют на ионизационные, сцинтилляционные, химические, фотографические и др.

Ионизационный метод основан на обнаружении эффекта ионизации атомов вещества под действием ионизирующего излучения. Простейшим ионизационным детектором является ионизационная камера. Она состоит из двух электродов, пространство между которыми заполняется воздухом или другим газом. Для образования электрического поля между электродами к ним прикладывается постоянное напряжение от внешнего источника. Под воздействием ионизирующего излучения происходит ионизация воздуха или газа. При наличии электрического поля в ионизированном воздухе или газе возникает направленное движение ионов, т. е. через газ проходит электрический ток, называемый ионизационным. Измеряя величину ионизационного тока, можно судить об интенсивности ионизирующего излучения. Ионизационные камеры просты и характеризуются высокой эффективностью регистрации, но имеют недостатки. Так, для измерения полной энергии ионизирующей частицы необходимо, чтобы ее пробег целиком уместился в камере. Ионизационные камеры чувствительны к помехам.

Недостатки ионизационных камер в значительной мере преодолены в газоразрядных счетчиках. Газоразрядный счетчик представляет собой металлический или стеклянный цилиндр, покрытый внутри слоем металла, который служит катодом. Вдоль оси цилиндра натягивается тонкая нить (толщиной 10–100 мкм), которая является анодом.

В зависимости от характера используемого разряда счетчики разделяются на пропорциональные и счетчики Гейгера – Мюллера. Пропорциональный счетчик с несамостоятельным разрядом при прекращении действия радиоактивного излучения гаснет. Счетчик Гейгера – Мюллера – с самостоятельным разрядом, т. е. ток в нем поддерживается и после прекращения действия ионизирующего излучения. Характерной особенностью такого счетчика является необходимость гашения самостоятельного разряда. Гашение производится путем применения специальных электронных устройств или путем ввода в состав газа специальных добавок.

В настоящее время широкое применение получили сцинтилляционные счетчики. Вещества, испускающие свет под действием ионизирующего излучения, называются сцинтилляторами. Сцинтилляционный метод регистрации радиоактивных излучений основан на изменении интенсивности световых вспышек, возникающих в люминесцирующих веществах при прохождении через них ионизирующего излучения. Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения. Регистрация световых вспышек осуществляется с помощью фотоэлектронного умножителя с регистрирующей электронной схемой. Фотоэлектронный умножитель позволяет преобразовать слабые световые вспышки от сцинтиллятора в большие электрические импульсы.

Широкое использование сцинтилляционных детекторов объясняется следующими их свойствами:

1) высокая эффективность регистрации (сцинтилляционный счетчик с кристаллом NaI регистрирует 20–40 % от числа попадающих на него γ -квантов с энергией 660 кэВ, в то время как счетчик Гейгера – Мюллера в тех же условиях регистрирует лишь 0,5 % попавших на него квантов);

2) высокая временная разрешающая способность (10^{-7} – 10^{-9} с);

3) способность измерять энергии частиц и квантов (с точностью до нескольких процентов);

4) относительная простота аппаратуры.

К числу недостатков сцинтилляционного метода следует отнести сравнительно низкую разрешающую способность по энергии (8–10 % при энергии γ -квантов 660 кэВ) и сложность обработки спектров, полученных на сцинтилляционном спектрометре. Даже в простейшем случае, когда нуклид излучает γ -кванты одной энергии, спектр имеет довольно сложный вид. Однако для решения многих научных и прикладных задач указанные недостатки не являются существенными.

Основными элементами простейшего однокристалльного сцинтилляционного спектрометра (рис. 6.1) являются: сцинтиллятор 1, фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) 2, эмиттерный повторитель 3, спектрометрический усилитель 4, анализирующее 5 и регистрирующее 6 устройства. Для питания ФЭУ используется высоковольтный стабилизатор напряжения 7, обеспечивающий постоянство напряжения на электродах ФЭУ. Сцинтилляционный кристалл, ФЭУ и формирователь помещаются в светонепроницаемый кожух 8.

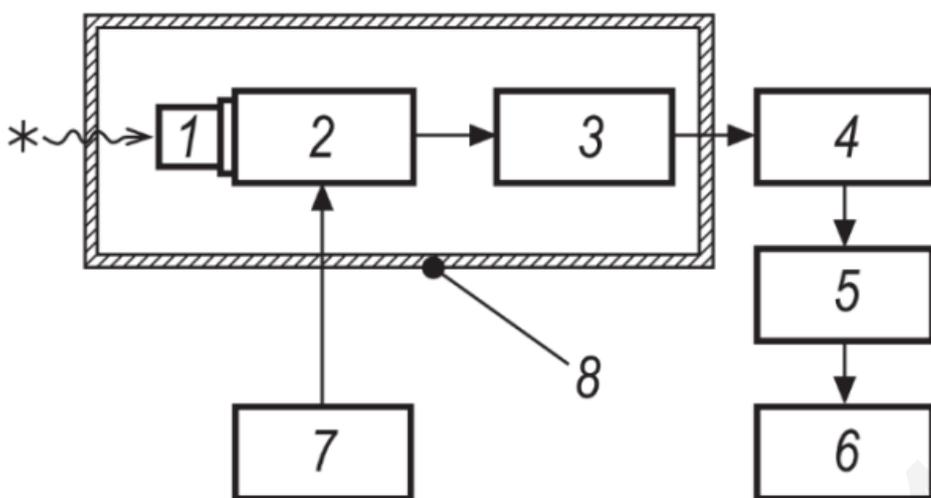


Рис. 6.1. Блок-схема сцинтилляционного γ -спектрометра

При попадании частиц или γ -квантов в вещество сцинтиллятора в нем возникают световые вспышки (сцинтилляции). Сцинтилляции с помощью фотоэлектронного умножителя преобразуются в импульсы тока. Интенсивность световой вспышки в сцинтилляторе пропорциональна энергии, потерянной частицей или γ -квантом в сцинтилляторе. Это свойство сцинтилляторов позволяет использовать их в спектрометрах заряженных частиц и γ -квантов. Анализ амплитуд импульсов на выходе ФЭУ и вместе с ним анализ энергии регистрируемых частиц и γ -квантов осуществляется амплитудными анализаторами.

Поглощение энергии веществом и ее последующее испускание в виде видимого или близкого к видимому излучения известно как люминесценция. Причинами, вызывающими люминесценцию, могут быть свет, нагревание, механические напряжения, химические реакции и воздействия заряженных частиц на вещество – люминофор. Вспышки света, вызванные заряженными частицами, обычно называют сцинтилляциями. В настоящее время существует много различных видов сцинтилляторов в твердом, жидком и газообразном состояниях.

Под действием быстрой заряженной частицы электроны кристалла переходят из заполненной зоны в зону проводимости или на промежуточные уровни, если они существуют в данном кристалле. Возвращение электронов в основное состояние сопровождается испусканием фотонов, длина волны которых обычно лежит в интервале 100–700 нм, а полуширина спектральной характеристики составляет 100 нм. Спектр излучения кристалла должен перекрываться спектральной характеристикой чувствительности применяемого ФЭУ.

В качестве сцинтилляторов берут такие кристаллы, для которых полоса поглощения лежит за пределами частот люминесцентного излучения. Обычно средняя частота основной полосы поглощения больше частоты, соответствующей средней длине волны люминесценции. В этом случае кристаллы будут прозрачны для собственного излучения. Например, сцинтилляция в кристалле NaI(Tl) имеет среднюю длину волны 410 нм, а спектр поглощения лежит в ультрафиолетовой области

и имеет максимумы при 293 и 234 нм. Поэтому прозрачность кристалла NaJ(Tl) для собственного излучения (сцинтилляций) близка к 100 %.

Часто в кристалл-сцинтиллятор вносят атомы примесных веществ – активаторов. Примерами таких кристаллов могут служить йодистый натрий, активированный таллием NaJ(Tl); сернистый цинк, активированный серебром ZnS(Ag), и др.

Введение активатора повышает световыход кристалла (отношение среднего числа фотонов в одной сцинтилляции к энергии, потерянной заряженной частицей в сцинтилляторе). Существенной характеристикой сцинтиллятора является длительность световой вспышки. Изменение во времени числа фотонов в сцинтилляции характеризуется быстрым нарастанием вначале и сравнительно медленным экспоненциальным спадом, поэтому длительность сцинтилляции можно определять постоянной времени затухания процесса, т. е. временем, в течение которого интенсивность световой вспышки уменьшится в определенное количество раз.

Существует два широких класса кристаллических сцинтилляторов – неорганические и органические. Неорганические кристаллы представляют собой соли различных металлов, чаще всего щелочных. Активируются неорганические кристаллы атомами тяжелых металлов – Ag, Sn, Tl. Широкое применение получили галогениды щелочных металлов, активированные таллием, – NaJ(Tl), CsJ(Tl). Эти кристаллы чаще всего используются для регистрации и спектрометрии γ -излучения. В процессе взаимодействия гамма-квантов с веществом сцинтиллятора в нем появляются быстрые электроны за счет фотоэффекта, комптоновского рассеяния и образования пар электрон – позитрон. Указанные кристаллы обладают высокой плотностью (3–5 г/см³) и большим эффективным порядковым номером (от 30 до 50), поэтому сечения всех упомянутых процессов в этих кристаллах относительно велики.

Альфа-частицы и другие тяжелые заряженные частицы обычно регистрируются тонкими слоями микрокристаллов ZnS(Ag), ZnS(Cu), ZnO. Общим недостатком неорганических кристаллов является их относительно большое время высвечивания $\tau \sim 10^{-7}$ с и более.

Органические сцинтилляторы представляют собой ароматические углеводороды, в состав которых входят бензольные кольца. Примерами органических сцинтилляторов могут служить кристаллы антрацена, стильбена, нафталина, раствора парфенила в полистироле и др. Преимуществами органических по сравнению с неорганическими сцинтилляторами является их малое время высвечивания и высокая эффективность регистрации электронов. Неорганические кристаллы для регистрации электронов обычно не используются, т. к. электроны испытывают сильное рассеяние на поверхности кристалла и не проникают в глубь кристалла.

Нейтроны непосредственно не производят ионизации, однако и их можно регистрировать с помощью сцинтилляционного метода. Быстрые нейтроны регистрируются за счет ионизации, производимой протонами отдачи, которые образуются при упругом рассеянии нейтронов на водороде, входящем в состав органических сцинтилляторов. Тепловые нейтроны можно регистрировать с помощью реакций на ядрах Eu и Cd, которыми активируется сцинтиллятор. Возникающее при этом γ -излучение регистрируется обычным способом.

Фотоумножитель служит для преобразования световых вспышек сцинтиллятора в импульсы электрического тока. Основными элементами ФЭУ являются фотокатод, система ускоряющих электродов (динодов) и анод, собирающий электроны.

Сцинтиллятор с помощью специальных масел или клея, обеспечивающих оптический контакт, прикрепляется к торцу стеклянного баллона ФЭУ (рис. 6.2). Изнутри на этот торец наносится полупрозрачный металлический слой, представляющий собой фотокатод. Свет сцинтилляций вырывает из фотокатода электроны, которые фокусируются на первый динод ФЭУ. Неоднородность покрытия фотокатода сильно влияет на амплитудное разрешение ФЭУ.



Рис. 6.2. Устройство ФЭУ

Попавшие на первый динод фотоэлектроны выбивают из него вторичные электроны, которые фокусируются и направляются на следующий динод. Материал динодов выбирается таким, чтобы коэффициент вторичной эмиссии был больше единицы. В этом случае происходит умножение числа электронов.

Амплитуда импульсов на выходе ФЭУ анализируется системой радиотехнических устройств, состоящей из усилителя-формирователя (в простейшем случае эмиттерного повторителя), спектрометрического усилителя и собственно анализатора. Формирователь служит для согласования выхода ФЭУ с последующим усилителем и позволяет вынести электронную аппаратуру на значительное расстояние от источника излучения и детектирующей головки (сцинтиллятор и ФЭУ). Усилители, применяемые в сцинтилляционных спектрометрах, имеют сравнительно небольшой коэффициент усиления (10–100), однако к ним предъявляется ряд особых требований:

- 1) высокая стабильность коэффициента усиления;
- 2) линейность амплитудной характеристики;
- 3) достаточно широкая полоса пропускания (длительность импульса, поступающего с ФЭУ, ~ 1 мкс, поэтому для передачи спектра импульсов без искажений необходима полоса пропускания до нескольких мегагерц);
- 4) способность работать без искажения спектра при больших скоростях счета (до 10^4 – 10^5 имп/с).

Когда установка работает в режиме простого счетчика, импульсы с выхода формирователя или усилителя могут подаваться прямо на регистрирующее устройство. В этом случае требования 1 и 2 не являются столь существенными, как в спектрометрическом режиме.

Анализ спектра импульсов по амплитудам осуществляется специальными устройствами – амплитудными анализаторами. Амплитудный спектр импульсов тока на выходе ФЭУ подобен энергетическому спектру регистрируемого излучения, поэтому полученная с помощью анализатора зависимость числа импульсов от их амплитуды представляет собой зависимость числа зарегистрированных γ -квантов или частиц от их энергии.

Радиационная гигиена. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99) представлены в табл. 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Нормируемые величины для стронция-90

Наименование продукта	Удельная или объемная активности
1. Вода питьевая	0,37 Бк/л
2. Молоко и цельномолочная продукция	3,7 Бк/л
3. Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7 Бк/кг
4. Картофель	3,7 Бк/кг
5. Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	1,85 Бк/кг

Таблица 6.2

Нормируемые величины для цезия-137

Наименование продукта	Удельная или объемная активности
1	2
1. Вода питьевая	10 Бк/л
2. Молоко и цельномолочная продукция	100 Бк/л
3. Молоко сгущенное и концентрированное	200 Бк/л
4. Творог и творожные изделия	50 Бк/кг
5. Сыры сычужные и плавленые	50 Бк/кг
6. Масло коровье	100 Бк/кг
7. Мясо и мясные продукты, в том числе:	
7.1. Говядина, баранина и продукты из них	500 Бк/кг
7.2. Свинина, птица и продукты из них	180 Бк/кг
8. Картофель	80 Бк/кг
9. Хлеб и хлебобулочные изделия	40 Бк/кг
10. Мука, крупы, сахар	60 Бк/кг
11. Жиры растительные	40 Бк/кг
12. Жиры животные и маргарин	100 Бк/кг
13. Овощи и корнеплоды	100 Бк/кг
14. Фрукты	40 Бк/кг

1	2
15. Садовые ягоды	70 Бк/кг
16. Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод садовых	74 Бк/кг
17. Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185 Бк/кг
18. Грибы свежие	370 Бк/кг
19. Грибы сушеные	2500 Бк/кг
20. Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	37 Бк/кг
21. Прочие продукты питания	370 Бк/кг

Для продуктов питания, потребление которых составляет менее 5 кг/год на человека (специи, чай, мед и др.), устанавливаются допустимые уровни в 10 раз более высокие, чем величины для прочих пищевых продуктов.

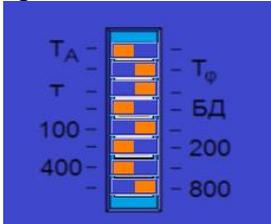
Выполнение лабораторной работы

Ход работы:

1. Получить у преподавателя номер варианта.
2. Измерить удельную активность сушеных грибов прибором РКСБ-104 (см. табл. 6.3) или прибором РКС-107.
3. Занести полученные данные в табл. 6.4. Рассчитать значения измеренных величин и занести их в табл. 6.4.
4. Сделать выводы о полученных результатах.
5. Измерить радиоактивное загрязнение строительных материалов.

Таблица 6.3

Измерение удельной активности вещества РКСБ-104

РКСБ-104	Эмулятор РКСБ-104
1	2
Снимите заднюю крышку-фильтр	Нажмите кнопку «Открыта»
Переведите движки кодового переключателя в положения, показанные на рисунке	
	
Заполните кювету чистой водой	Установите вариант №1
Включите прибор, установив тумблер S ₁ (см. рис. 5.1) в положение «ВКЛ». Снимите 5 измерений. Занесите значения в отчет	
Рассчитайте среднее арифметическое фоновых показаний A _ф по формуле	
$A_{\phi} = \frac{A_{\phi 1} + A_{\phi 2} + A_{\phi 3} + A_{\phi 4} + A_{\phi 5}}{5}$	

1	2
Вылейте воду, просушите кювету и заполните исследуемым веществом	Установите вариант, выданный преподавателем
Включите прибор, установив тумблер S_1 (см. рис. 5.1) в положение «ВКЛ». Снимите 5 отсчетов. Занесите значения в отчет	
Рассчитайте среднее арифметическое фоновых показаний A_{ϕ} по формуле $A_{\text{изм}} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{5}$	
Рассчитайте по формуле величину удельной активности вещества по радионуклиду цезий-137 $A_m = K_2(A_{\text{изм}} - A_{\phi}),$ где K_2 – пересчетный коэффициент (см. табл. 5.3)	

Таблица 6.4

Результаты измерений

Измеряемая величина	Значение, показанное прибором		Значение измеряемой величины (расчетное)	Единицы измерения	Выводы
	$A_{\phi n}$	A_n			
–			–		–
Удельная активность					

Использование прибора РКС-107 для измерения удельной активности вещества по радионуклиду цезий-137.

Снимите заднюю крышку-фильтр. Заполните измерительную кювету (половину упаковки прибора) заведомо чистой в радиационном отношении водой до метки – буртика внутри кюветы, установите прибор на кювету, как это показано на рис. 6.3.

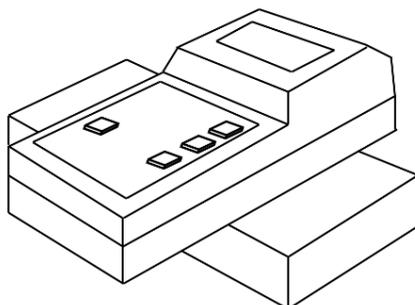


Рис. 6.3. Расположение прибора при измерении удельной активности вещества

Включите прибор кнопкой «ВКЛ». Нажимая дважды кнопку «РЕЖИМ», установите указатель режима работы прибора в положение «Бк/г х 10».

Нажмите кнопку «ПУСК». После звукового сигнала окончания цикла измерения (через $(240 \pm 6,0)$ с) снимите отсчет фонового показания прибора. Запишите результат.

Повторите измерения не менее пяти раз, найдите среднее арифметическое отсчетов показаний, умножьте результат на 10, получив результат измерения фоновых показаний A_{ϕ} в беккерелях на грамм. Выключите прибор.

Вылейте воду из кюветы, просушите ее и заполните исследуемым водным раствором до той же метки. Вновь установите прибор на кювету, включите прибор кнопкой «ВКЛ». Нажимая дважды кнопку «РЕЖИМ», установите указатель режима работы прибора в положение «Бк/г $\times 10$ ». Нажмите кнопку «ПУСК». После звукового сигнала окончания цикла измерения (через $(240 \pm 6,0)$ с) снимите отсчет фонового показания прибора. Запишите результат.

При малых значениях удельной активности радионуклидов рекомендуется снимать значения не менее пяти раз отсчетов показаний. Найдите их среднее арифметическое, умножьте результат на 10. Получается результат измерения фоновых показаний A_{ϕ} в беккерелях на грамм.

Рассчитайте по формуле величину удельной активности вещества по радионуклиду цезий-137:

$$A_m = (A_n - A_{\phi}).$$

Снимите прибор с кюветы, выключите его и установите крышку-фильтр на прежнее место.

Вылейте анализируемый водный раствор, просушите кювету, при необходимости произведите дезактивацию кюветы с применением синтетических моющих средств.

Оценку радиоактивного загрязнения строительных материалов провести с помощью радиометра РУГ 91 «АДАНИ». Для этого:

1. Изучить устройство радиометра «АДАНИ» и правила его эксплуатации.
2. Изучить методику применения радиометра при измерении объемной активности радионуклидов в строительных материалах.

Подготовить радиометр к работе и измерить собственный гамма-фон, для чего:

1. Включить радиометр в сеть.
2. Нажать кнопку «СЕТЬ» на передней панели прибора. Звуковой сигнал и индикация «0» на цифровом табло свидетельствуют о готовности прибора к работе.

Измерить собственный гамма-фон свинцового защитного экрана с кюветой, для чего:

1. Заполнить кювету чистой водой.
2. Кювету с водой установить в свинцовый контейнер и закрыть крышку.
3. Последовательно нажать кнопки «ФОН» и время измерения «2 МИН» или «20 МИН». При этом над кнопками загораются светодиоды. Выполнение команды подтверждается звуковым сигналом.

Примечание. В процессе измерения на табло индицируется обратный отсчет времени в секундах (от 1 200 до 0000). Окончание измерения подтверждается звуковым сигналом. По окончании 2 или 20 мин на табло высвечивается результат измерения фона в единицах скорости счета (кБк/л).

4. Вывести результаты измерения фона на табло. Для чего нажатием кнопки «ЦЕЗИЙ-137» или «КАЛИЙ-40» осуществить вывод результатов измерения на табло для соответствующего радионуклида.

5. Результаты измерения фона записать в табл. 6.5.

Примечание. Результаты измерения фона хранятся в памяти микропроцессорного устройства радиометра. Применение резервного питания в приборе исключает процедуру регистрации фона перед началом нового цикла измерений.

Измерить объемную активность радионуклидов в пробах строительных материалов, для чего:

1. Установить кювету с пробой в свинцовый контейнер и закрыть крышку.

2. Нажать кнопку «ПРОБА» и одну из кнопок времени измерения «2 МИН» или «20 МИН». При этом измерение активности радионуклидов ведется по двум каналам: «ЦЕЗИЙ-137» и «КАЛИЙ-40».

3. Окончание измерений подтверждается звуковым сигналом и индикацией результатов измерения на табло (кБк/л).

4. Результаты измерений записать в табл. 6.5.

5. Измеренную объемную активность пересчитать в удельную активность по формуле

$$A_{\text{уд}} = \frac{A_{\text{об}}}{q},$$

где $A_{\text{уд}}$ – удельная активность, кБк/кг;

$A_{\text{об}}$ – объемная активность, кБк/л;

q – удельный вес материала пробы, кг/л (указан на крышке кюветы).

Таблица 6.5

Результаты измерений

№ п/п	Вид пробы	Объемная активность (кБк/л)						Вывод
		фон		проба		норма		
		цезий	калий	цезий	калий	цезий	калий	
1								
2								

6. Оценить степень радиоактивного загрязнения исследуемых материалов. Для чего фактическое значение активности исследуемых строительных материалов сравнить с предельно допустимым уровнем (нормой) содержания радионуклидов и сделать выводы о пригодности строительных материалов.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды космических излучений и их состав.
2. Назовите пути поступления радионуклидов в организм человека.
3. Назовите виды искусственных источников радиации.
4. Какие вещества называются радиоактивными?
5. Что характеризует и показывает постоянная времени распада? Дайте определение периода полураспада.
6. Что характеризует активность вещества и чем она определяется?
7. Перечислите единицы измерения объемной, поверхностной и удельной активности.
8. Что понимают под ионизирующим излучением? Перечислите основные виды излучений радиоактивных ядер и их параметры.
9. Что такое тормозное излучение и в чем его сущность?
10. Каково условие, при котором имеет место фотоэффект при взаимодействии гамма-квантов с веществом и его сущность?
11. Каково условие, при котором имеет место комптоновское рассеяние при взаимодействии гамма-квантов с веществом, и его сущность?
12. Каково условие, при котором имеет место образование пар электрон – позитрон в кулоновском поле ядра, и его сущность?
13. В чем сущность ионизационного метода регистрации ионизирующих излучений?
14. Назовите достоинства и недостатки счетчиков Гейгера – Мюллера.
15. Какова сущность сцинтилляционного метода регистрации ионизирующих излучений?

Литература

1. СанПиН 2.6.2.11-4–2005 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения».
2. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к радиационной безопасности» и Гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия»: Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 г. №213.

Лабораторная работа №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СИЛЬНОДЕЙСТВУЮЩИХ ЯДОВИТЫХ И ОТРАВЛЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ. ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Теоретический материал

Опасные химические вещества. В настоящее время на хозяйственных объектах используется большое количество химических веществ. При их использовании иногда возникают аварии. Причинами аварии являются: нарушение правил хранения и перевозки химического вещества, техники безопасности при работе с ним, а также стихийные бедствия.

Опасное химическое вещество (ОХВ) – химическое вещество, прямое или опосредованное воздействие которого на человека может вызвать острые и хронические заболевания людей или их гибель. К понятию ОХВ также относят аварийно опасные химические вещества (АХОВ), применяемые в промышленности или сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (разливе) которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях (токсодозах).

Первичное облако – облако паров ОХВ, образующееся в результате практически мгновенного (1–3 мин) перехода в атмосферу пролитого (выброшенного) при аварии вещества.

Вторичное облако – облако паров ОХВ, образующееся в результате постепенного испарения разлившегося вещества с поддона или подстилающей поверхности.

Выброс ОХВ – выход при разгерметизации за короткий промежуток времени из технологических установок, емкостей для хранения и транспортирования ОХВ или продукта в количестве, способном вызвать химическую аварию.

Зона химического заражения – территория или акватория, в пределах которой распространены или куда привнесены опасные химические вещества в концентрациях или количествах, создающих опасность для жизни и здоровья людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени.

Зона чрезвычайной ситуации (ЧС) – территория, на которой возникла ЧС.

Обеззараживание – уменьшение до предельно допустимых норм загрязнения и заражения территории, объектов, воды, продовольствия, пищевого сырья и кормов радиоактивными или опасными химическими веществами путем дезактивации, дегазации, демеркуризации, а также опасными биологическими веществами – путем дезинфекции и детоксикации.

Очаг химического заражения – территория, в пределах которой в результате воздействия ОХВ произошли массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных и растений.

Пороговая (поражающая, смертельная) токсодоза – произведение концентрации ОХВ в данном месте зоны химического заражения на время пребывания человека в этом месте без средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД),

в течение которого проявляются определенные степени токсического воздействия данного ОХВ на человека: первые слабые признаки отравления (пороговая токсодоза), существенное отравление с соответствующими симптомами (поражающая токсодоза), кома (смертельная токсодоза).

Потенциально опасный объект – объект, на котором используются, изготавливаются, перерабатываются, сохраняются или транспортируются опасные радиоактивные, пожаровзрывоопасные, химические вещества и биологические препараты, гидротехнические и транспортные сооружения, транспортные средства, а также другие объекты, которые создают реальную угрозу возникновения ЧС.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) ОХВ – максимальное количество ОХВ в почве, воздушной или водной среде, продовольствии, пищевом сырье и кормах, измеряемое в единице объема или массы, которое при постоянном контакте с человеком или при воздействии на него за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье и не вызывает неблагоприятных последствий.

Пролив ОХВ – вытекание при разгерметизации из технологических установок, емкости для хранения или транспортирования ОХВ или продукта в количестве, способном вызывать химическую аварию.

Средства индивидуальной защиты – технические средства индивидуального пользования для предохранения человека от опасных для его жизни и здоровья воздействий.

Химическая авария – авария на химически опасном объекте, сопровождающаяся проливом или выбросом ОХВ, способная привести к гибели или химическому заражению людей, продовольствия, пищевого сырья и кормов, сельскохозяйственных животных и растений, или химическому заражению окружающей природной среды [2].

Химически опасный объект (ХОО) – объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого может произойти гибель или химическое заражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также окружающей природной среды [2].

Химическое заражение – распространение ОХВ в окружающей природной среде в концентрациях или количествах, создающих угрозу для людей, сельскохозяйственных животных и растений в течение определенного времени.

Современные приборы химической разведки и контроля. Технические средства химической разведки (ТСХР) – приборы, аппаратура, комплекты, комплексы, системы и другие технические изделия, предназначенные для ведения химической разведки и контроля (мониторинга) химической обстановки в зонах чрезвычайных ситуаций, на химически опасных объектах, в местах проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Классификация средств химической разведки. Классы ТСХР по виду (способу) ведения химической разведки и контроля (мониторинга) химической обстановки, условиям эксплуатации и стойкости к внешним воздействующим факторам (ВВФ):

1. Наземные:
 - автономные (переносные, портативные, ручные и т. п.);
 - подвижных объектов (комплексы химической разведки, машина химической разведки, автомобильная химическая лаборатория и т. п.).
2. Воздушные.
3. Корабельные.
4. Приборы контроля (мониторинга) химической обстановки:
 - для мониторинга химической обстановки;
 - химического контроля химически опасного объекта.

Общие технические требования. ТСХР всех классов должны обнаруживать или идентифицировать в зависимости от предназначения вещества группы АХОВ или боевых отравляющих веществ (при передаче информации указывают их наименование и (или) химическую формулу, другие наименования, если необходимо).

Образцы ТСХР всех классов в зависимости от функционального назначения должны обеспечивать контроль параметров веществ группы АХОВ. Контролируемые параметры и их единицы измерения представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Параметры контролируемых веществ

Параметры	Единицы измерения
Концентрация в воздухе	мг/дм ³ (мг/л)
Концентрация в воде	мг/дм ³ (мг/л)
Концентрация в почве	мг/кг
Плотность заражения местности	г/м ²
Плотность заражения объектов	г/м ²

Образцы ТСХР всех классов должны осуществлять звуковую или световую сигнализацию при превышении концентрации веществ группы АХОВ в диапазоне 1–10 ПДК с быстродействием по АХОВ не более 120 с.

Выходной сигнал ТСХР в зависимости от функционального назначения конкретных образцов должен отражать достоверную информацию об обнаруженных веществах группы АХОВ определенным свойством, например:

- характерный цвет индикатора (порошка индикаторной трубки (ИТ), индикаторной пленки, индикаторной ленты и т. п.) по калибровочной шкале;
- характерный спектр поглощения в растворе, газе (при использовании спектрофотометров или лидаров) по эталонным и калибровочным зависимостям (графикам);
- цифровые или аналоговые показания концентрации веществ, газов или аэрозоля АХОВ и (или) боевые отравляющие вещества (БОВ) на дисплее;
- звуковой и (или) световой сигнал;
- результаты лабораторного химического анализа отобранных проб (мазков);
- картографическая и (или) текстовая информация о химической обстановке, передаваемая по каналам связи АСУ с установленной периодичностью.

Методы индикации отравляющих веществ и аварийно химически опасных веществ и ядов. Обнаружение и определение степени заражения отравляющих веществ (ОВ) и АХОВ воздуха, местности, сооружений, оборудования, транспорта, средств индивидуальной защиты, одежды, продовольствия, воды, фуража и других объектов производится с помощью приборов химической разведки, приборов физико-химического анализа или путем взятия проб и последующего анализа их в химических лабораториях.

Некоторые ОВ и АХОВ можно определить органолептически. Они имеют цвет, запах, вкус и т. д., т. е. их присутствие в окружающей среде можно обнаружить по внешним признакам с помощью органов чувств. Однако высокая токсичность большинства ОВ и АХОВ на практике эту возможность исключает. Поэтому этот метод считается вспомогательным.

Другим методом индикации токсичных химических веществ является физический метод. Он основан на установлении физических констант исследуемого вещества (температура кипения, плотность, давление пара, показатель преломления и т. п.). К физическому методу относится, в частности, обнаружение токсического вещества по инфракрасному спектру поглощения. Недостатком данного метода является то, что перед определением физических констант вещество должно быть подвергнуто тщательной очистке.

Существуют также биологические методы, применяемые крайне редко для определения наличия токсических веществ в воде и продуктах питания, как правило, в санитарно-эпидемиологических учреждениях. Суть их заключается в воздействии исследуемых продуктов и воды на различных животных (собак, кошек, кроликов, крыс и др.) путем введения в желудок (через зонд), закапывания в глаза, нанесения на кожные покровы, подкожного и внутримышечного введения с последующим лабораторным изучением клиники поражения.

Основным методом индикации ОВ и АХОВ является химический метод. Он основан на использовании химических реакций, которые протекают при взаимодействии токсичного вещества с реактивами (индикаторами). В результате реакций образуются новые соединения, имеющие характерные оптические свойства (изменение окраски).

Разновидностью химического метода индикации является биохимический метод, используемый для индикации токсичных химических веществ нейротоксического действия (фосфорорганические соединения (ФОС)). Сущность методики: под действием ацетилхолинэстеразы происходит гидролиз ацетилхолина с образованием уксусной кислоты. При этом рН среды сдвигается в кислую сторону и индикатор через 5 мин меняет окраску. Если исследуемый материал заражен ФОС, происходит угнетение фермента, замедляется гидролиз ацетилхолина (до полного угнетения) и изменение окраски индикатора запаздывает по сравнению с контрольной пробой. По времени запаздывания судят о степени заражения исследуемого материала фосфорорганическим соединением.

Основной принцип обнаружения и определения ОВ и АХОВ химическим способом с помощью приборов химической разведки основан на изменении

окраски наполнителя индикаторных трубок при взаимодействии с тем или иным веществом. То есть метод анализа основан на использовании индикаторных трубок (ИТ). Следовательно, чувствительность приборов химической разведки определяется чувствительностью ИТ.

Погрешность ИТ составляет не более 25 % с учетом влияния неконтролируемых факторов в сравнительно широких диапазонах температуры, давления и влажности воздуха.

Основными приборами химической разведки, работа которых основана на этом принципе, являются: войсковой прибор химической разведки (ВПХР); полуавтоматический прибор химической разведки (ППХР); прибор химической разведки медицинской и ветеринарной служб (ПХР-МВ) мини-лаборатории: «Пчелка-Р», «Сервэк», «Инспектор «Кейс».

Второй принцип обнаружения и определения ОВ и АХОВ приборами химической разведки основан на ионизации молекул токсичного химического вещества источником вакуумного ультрафиолета. В качестве источника вакуумного ультрафиолета используются лампы тлеющего разряда.

Воздух, содержащий ОВ или АХОВ, с помощью побудителя расхода прокачивается через детектор (ионизационную камеру), где анализируемое вещество ионизируется ультрафиолетовым излучением.

Заряженные частицы под воздействием приложенного к электродам напряжения перемещаются в ионизационной камере детектора, формируя токовой сигнал, пропорциональный концентрации вещества. Электрический усилитель повышает силу токового сигнала фотоионизационного детектора и выводится на микроамперметр. Сила тока на выходе пропорциональна концентрации ОВ или АХОВ в воздухе.

К основным приборам, использующим этот принцип, относятся: универсальный прибор газового контроля (УПГК-1И); газоанализаторы «Колион-701», «Колион-1В»; малогабаритный анализатор АНТ-2; многоканальный анализатор хлора и аммиака ЭССА-1.

Эта группа приборов в основном используется на предприятиях химической промышленности, а также на предприятиях, использующих высокотоксичные химические вещества.

Химическая обстановка может возникнуть в результате аварии на химически опасном объекте и при применении химического оружия.

Под химической обстановкой понимают масштабы и степень химического заражения воздуха (местности), оказывающие влияние на жизнедеятельность человека и работу хозяйственных объектов.

Разрушенные или поврежденные емкости (коммуникации) с ОХВ служат источниками образования зон химического заражения и очагов химического поражения.

Зона химического заражения включает место непосредственного разлива ядовитых веществ и территорию, над которой распространялись пары этих веществ в поражающих концентрациях. Такая зона характеризуется глубиной распростра-

нения облака, зараженного ядовитыми веществами воздуха с поражающими концентрациями (Γ), шириной (Π) и площадью S_3 . Кроме того, в зоне химического заражения может быть один или несколько очагов химического поражения, которые характеризуются своими площадями. Под *очагом химического поражения* понимают населенный пункт, попавший в зону химического заражения, где имеет место гибель людей, сельскохозяйственных животных и растений.

Выявлением и оценкой химической обстановки занимаются штабы гражданской обороны и командиры невоенизированных формирований. Оценке химической обстановки предшествует ее выявление. Выявить химическую обстановку – это значит определить зоны химического заражения и нанести их на карту (схему или план).

Оценка химической обстановки осуществляется методом прогнозирования и по данным химической разведки. Первый метод, как правило, используют штабы гражданской обороны, а второй – командиры невоенизированных формирований гражданской обороны.

На всех химически опасных объектах оценка химической обстановки производится методом прогнозирования. При этом в основу положены данные по одновременному выбросу в атмосферу всего запаса АХОВ, имеющихся на объекте, при благоприятных условиях для распространения зараженного воздуха. Такими условиями являются инверсия и скорость ветра, равная 1 м/с.

При аварии на химически опасном объекте оценка производится по конкретно сложившейся обстановке, т. е. берется реальное количество выброшенного (вылившегося) ядовитого вещества и реальные метеоусловия.

Для оценки химической обстановки необходимы следующие исходные данные: тип и количество АХОВ в емкости, где произошла авария; условия хранения; характер выброса (разлива) ядовитых веществ; топографические условия местности; метеоусловия; степень защищенности рабочих, служащих объекта и населения.

Исходные данные добываются постами радиационного и химического наблюдения; звеньями (группами) радиационной и химической разведки; из информации, поступающей от вышестоящих и соседних штабов гражданской обороны.

Оценка химической обстановки включает решение задач по определению размеров и площади зоны химического заражения; времени подхода зараженного воздуха к определенному рубежу (объекту); времени поражающего действия АХОВ; границ возможных очагов химического поражения; возможных потерь в очаге химического поражения.

Определение размеров и площади зоны химического заражения. По табл. 7.2 и 7.3 определяются ориентировочные расстояния, на которых могут создаваться в воздухе поражающие концентрации некоторых видов АХОВ для определенных условий.

Таблица 7.2

Данные для определения глубины распространения облаков зараженного воздуха с поражающими концентрациями АХОВ на открытой местности, км
(емкости не обвалованы, скорость ветра 1 м/с)

Наименование АХОВ	Количество АХОВ в емкостях, т					
	5	10	20	50	75	100
При инверсии						
Хлор, фосген	23	49	80	Более 80		
Аммиак	3,5	4,5	6,5	9,5	12	15
Сернистый ангидрид	4	4,5	7	10	12,5	17,5
Сероводород	5,5	7,5	12,5	20	25	61,6
При изотермии						
Хлор, фосген	4,6	7	11,5	16	19	21
Аммиак	0,7	0,9	1,3	1,9	2,4	3
Сернистый ангидрид	0,8	0,9	1,4	2	2,5	3,5
Сероводород	1,1	1,5	2,5	4	5	8,8
При конвекции						
Хлор, фосген	1	1,4	1,96	2,4	2,85	3,15
Аммиак	0,21	0,27	0,39	0,5	0,62	0,66
Сернистый ангидрид	0,24	0,27	0,42	0,52	0,65	0,77
Сероводород	0,33	0,45	0,65	0,88	1,1	1,5

Примечание. При скорости ветра более 1 м/с применяются поправочные коэффициенты, определяемые по табл. 7.4. Для обвалованных емкостей с АХОВ глубина распространения облака зараженного воздуха уменьшается в 1,5 раза.

Таблица 7.3

Данные для определения глубины распространения облаков зараженного воздуха с поражающими концентрациями АХОВ на закрытой местности, км
(емкости не обвалованы, скорость ветра 1 м/с)

Наименование АХОВ	Количество АХОВ в емкостях, т					
	5	10	20	50	75	100
1	2	3	4	5	6	7
При инверсии						
Хлор, фосген	6,57	14	22,85	41,14	48,85	54
Аммиак	1	1,28	1,85	2,71	3,42	4,28
Сернистый ангидрид	1,14	1,28	2	2,85	3,57	5
Сероводород	1,57	2,14	3,57	5,71	7,14	17,6
При изотермии						
Хлор, фосген	1,31	2	13,28	14,57	5,43	6
Аммиак	0,2	0,26	0,37	0,54	0,68	0,86
Сернистый ангидрид	0,23	0,26	0,4	0,57	0,71	1,1
Сероводород	0,31	0,43	0,71	1,14	1,43	2,51

1	2	3	4	5	6	7
При конвекции						
Хлор, фосген	0,4	0,52	0,72	1	1,2	1,32
Аммиак	0,06	0,08	0,11	0,16	0,2	0,26
Сернистый ангидрид	0,07	0,08	0,12	0,17	0,21	0,3
Сероводород	0,093	0,13	0,21	0,34	0,43	0,65

Примечание. При скорости ветра более 1 м/с применяются поправочные коэффициенты, определяемые по табл. 7.4. Для обвалованных емкостей с АХОВ глубина распространения зараженного воздуха уменьшается в 1,5 раза.

Таблица 7.4

Данные для определения поправочного коэффициента на скорость ветра

Устойчивость воздуха	Скорость ветра, м/с									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Инверсия	1	0,6	0,45	0,38	–	–	–	–	–	–
Изотермия	1	0,71	0,55	0,5	0,45	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32
Конвекция	1	0,7	0,62	0,55	–	–	–	–	–	–

Ширина зоны химического заражения (Ш) определяется по следующим соотношениям:

$$\text{Ш} = 0,03 \cdot \Gamma \text{ – при инверсии;}$$

$$\text{Ш} = 0,15 \cdot \Gamma \text{ – при изотермии;}$$

$$\text{Ш} = 0,8 \cdot \Gamma \text{ – при конвекции,}$$

где Γ – глубина распространения облака зараженного воздуха с поражающей концентрацией, км.

Площадь зоны химического заражения (S_3) принимается как площадь равнобедренного треугольника, которая равна половине произведения глубины распространения зараженного воздуха на ширину зоны заражения:

$$S_3 = 0,5 \cdot \Gamma \cdot \text{Ш}.$$

Примеры решения задач

Задача 1. На объекте разрушилась необвалованная емкость, содержащая 10 т аммиака. Определить размеры и площадь зоны химического заражения в ночное время. Местность открытая. Метеоусловия: ясно, скорость ветра 3 м/с.

Решение.

1. По табл. 7.5 определяем степень вертикальной устойчивости воздуха. Находим, что при указанных метеоусловиях степень вертикальной устойчивости воздуха – инверсия.

Оценка степени вертикальной устойчивости воздуха
по данным прогноза погоды

Скорость ветра, м/с	Ночь			День		
	ясно	полуясно	пасмурно	ясно	полуясно	пасмурно
0,5	Инверсия			Конвекция		
0,6–2,0						
2,1–4,0	Изотермия			Изотермия		
Более 4,0						

2. По табл. 7.2 для 10 т аммиака находим глубину распространения зараженного воздуха при скорости ветра 1 м/с. Она равна 4,5 км для поражающей концентрации. По табл. 7.4 для скорости ветра 3 м/с определяем поправочный коэффициент, равный для инверсии 0,45. Глубина распространения облака зараженного воздуха с поражающей концентрацией составит:

$$\Gamma = 4,5 \cdot 0,45 = 2,02 \text{ км.}$$

3. Определяем ширину зоны химического заражения при инверсии. Ширина зоны:

$$\text{Ш} = 0,03\Gamma = 0,03 \cdot 2,02 = 0,06 \text{ км.}$$

4. Определяем площадь зоны химического заражения:

$$S_3 = 0,5\Gamma\text{Ш} = 0,5 \cdot 2,02 \cdot 0,06 = 0,06 \text{ км}^2.$$

Определение времени подхода зараженного воздуха к определенному рубежу (объекту). Время подхода облака зараженного воздуха (t) к определенному рубежу (объекту) определяется делением расстояния (R) от места разлива АХОВ до данного рубежа (объекта) на среднюю скорость переноса облака (W) воздушным потоком. Средняя скорость переноса облака зараженного воздуха определяется по табл. 7.6. Облако зараженного воздуха распространяется на высоты, где скорость ветра больше, чем у поверхности земли. Вследствие этого средняя скорость распространения будет больше, чем скорость ветра на высоте 1 м.

Таблица 7.6

Данные для определения средней скорости
переноса облака зараженного воздуха, м/с

Скорость ветра, м/с	Инверсия		Изотермия		Конвекция	
	$R < 10$ км	$R > 10$ км	$R < 10$ км	$R > 10$ км	$R < 10$ км	$R > 10$ км
1	2	3	4	5	6	7
1	2	2,2	1,5	2	1,5	1,8
2	4	4,5	3	4	3	3,5

1	2	3	4	5	6	7
4	–	–	6	8	–	–
5	–	–	7,5	10	–	–
6	–	–	9	12	–	–
7	–	–	10,5	14	–	–

Примечание. Инверсия и конвекция при скорости ветра более 3 м/с наблюдаются в редких случаях.

Задача 2. В результате аварии на объекте, расположенном на расстоянии 9 км от населенного пункта, разрушены коммуникации со сжиженным аммиаком. Метеоусловия: изотермия, скорость ветра 5 м/с. Определить время подхода облака зараженного воздуха к населенному пункту.

Решение.

По табл. 7.6 для изотермии и скорости ветра $V_B = 5$ м/с находим среднюю скорость переноса облака зараженного воздуха $W = 7,5$ м/с.

Время подхода облака зараженного воздуха к населенному пункту определяется из выражения

$$t = R/W = 9000/(7,5 \cdot 60) = 20 \text{ мин.}$$

Определение времени поражающего действия АХОВ. Время поражающего действия АХОВ ($t_{\text{пор}}$) определяется временем испарения ядовитого вещества с поверхности его выброса (разлива). Значение времени поражающего действия определяется по табл. 7.7. Зная глубину зоны химического заражения (Γ) и время испарения АХОВ, строим график (рис. 7.1). По оси ординат откладывается время поражающего действия ($t_{\text{пор}}$), а по оси абсцисс – глубина зоны химического заражения (Γ). Полученные точки А и Б соединяются прямой линией. Для нахождения продолжительности поражающего действия на требуемом расстоянии от района аварии восстанавливается перпендикуляр до пересечения с прямой линией АБ. Из точки пересечения В проводится прямая линия, параллельная оси абсцисс, до пересечения с осью ординат. Точка пересечения с осью ординат и дает искомое время поражающего действия АХОВ.

Таблица 7.7

Данные для определения времени испарения АХОВ из поддона
при скорости ветра 1 м/с, сут

Емкость хранения, т	Температура воздуха, °С								
	–40	–30	–20	–10	0	10	20	30	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хлор									
1	0,5	0,43	0,36	0,29	0,25	0,21	0,19	0,16	0,14
10	0,58	0,5	0,4	0,33	0,29	0,25	0,23	0,18	0,16
100	8,6	7,3	6,3	5,3	4,7	4,1	3,4	3,1	2,6
500	12,3	10,5	8,9	7,7	6,8	5,8	5,1	4,5	3,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Аммиак									
50	1,3	1,1	0,9	0,76	0,67	0,55	0,47	0,42	0,36
100	18,3	15,4	12,6	11,4	9,3	7,6	6,3	5,5	4,7
500	27,0	23,2	18,6	15,9	13,1	11,3	9,4	8,3	7,0
Окись этилена									
10	1,8	1,5	1,0	0,83	0,64	0,55	0,46	0,38	0,3
50	1,9	1,6	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,32
100	25	20	15,1	12,2	9,4	7,6	6,0	4,9	4,1

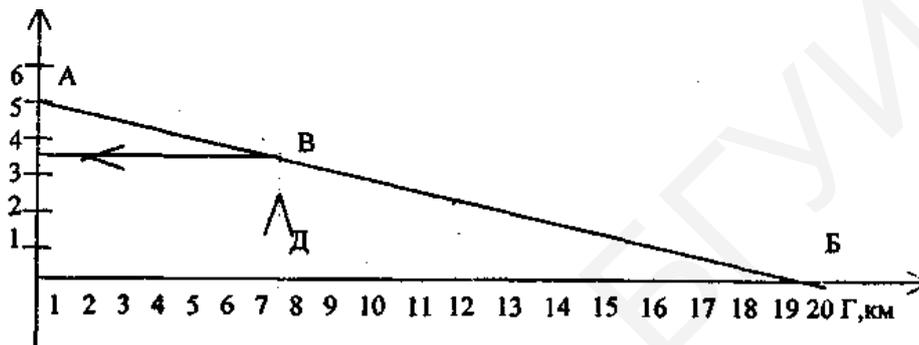


Рис. 7.1. График определения времени поражающего действия АХОВ

Задача 3. На объекте разрушилась обвалованная емкость, содержащая 100 т хлора. Определить продолжительность поражающего действия АХОВ на удалении 6 км. Метеоусловия: инверсия, скорость ветра 4 м/с, температура воздуха 0 °С. Местность открытая.

Решение.

1. По табл. 7.2 определяем глубину зоны химического заражения. Для 100 т хлора $\Gamma = 80$ км. По табл. 7.3 находим поправочный коэффициент 0,38. Тогда глубина зоны

$$\Gamma = 80 \cdot 0,38 = 30 \text{ км.}$$

Так как емкость обвалованная, то глубина распространения облака уменьшается в 1,5 раза. Следовательно, глубина зоны заражения составит:

$$\Gamma = 30/1,5 = 20 \text{ км.}$$

2. По табл. 7.6 (для емкости 100 т с хлором при температуре 0 °С) находим продолжительность поражающего действия хлора в районе аварии 4,7 сут.

3. Строим график (см. рис. 7.1) и по оси абсцисс откладываем расстояние $\Gamma = 20$ км, а по оси ординат – значение $t_{\text{пор}} = 4,7$ сут. Соединяем точки А и Б прямой. Восстанавливаем перпендикуляр с $D = 6$ км до пересечения с прямой АБ и проводим прямую из точки В до оси ординат. Находим, что продолжительность поражающего действия хлора на расстоянии 6 км от точки аварии составит 3,5 сут.

Определение границ возможных очагов химического поражения. Для определения границ очага поражения необходимо на карту (схему или план) нанести зону химического заражения. Затем выделить населенные пункты или части их, которые попадают в зону химического заражения. Расчетными границами очагов химического поражения и будут границы этих населенных пунктов или районов.

Определение возможных потерь населения в очаге химического поражения. Потери населения будут зависеть от численности людей, оказавшихся на площади очага, степени защищенности их и своевременного использования средств индивидуальной защиты. При этом количество рабочих и служащих подсчитывается по их наличию на территории объекта (по зданиям цехов, площадок), а количество населения – по жилым кварталам. Возможные потери населения в очаге химического поражения определяются по табл. 7.7.

Задача 4. На химическом заводе в результате аварии разрушена емкость, содержащая 15 т хлора. Рабочие и служащие завода (500 чел.) обеспечены противогазами на 100 %. Определить возможные потери рабочих и служащих завода и их структуру.

Решение.

1. По табл. 7.8 определяем потери рабочих и служащих при условии, что они обеспечены противогазами на 100 %:

$$500 \cdot 0,04 = 20 \text{ чел.}$$

2. Определяем структуру потерь (см. примечание к табл. 7.8):

- со смертельным исходом: $20 \cdot 0,35 = 7$ чел.;
- средней и тяжелой степени: $20 \cdot 0,4 = 8$ чел.;
- легкой степени: $20 \cdot 0,25 = 5$ чел.

Всего со смертельным исходом и потерявших работоспособность будет 15 чел.

Таблица 7.8

Данные для определения возможных потерь рабочих, служащих и населения от АХОВ в очаге поражения, %

Условия нахождения людей	Без противогазов	Обеспеченность противогазами, %								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
На открытой местности	90–100	75	65	58	50	40	35	25	18	10
В простейших укрытиях, зданиях	50	40	35	30	27	22	18	14	9	4

Примечание. Ориентировочная структура потерь людей в очаге поражения составит (%): легкой степени – 25, средней и тяжелой степени (с выходом из строя не менее чем на 2–3 недели и нуждающихся в госпитализации) – 40, со смертельным исходом – 35.

Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. На холодильном комбинате №1 разрушены три обвалованные емкости с аммиаком по 6 т каждая. Местность – открытая, ветер – юго-западный, скорость ветра – 1 м/с. Расстояние от комбината до БГУИР составляет 1,56 км.

Определить:

- а) размеры и площадь зоны химического заражения;
- б) время подхода зараженного воздуха в район БГУИР;
- в) время поражающего действия аммиака в районе БГУИР;
- г) возможные потери рабочих и служащих комбината и сотрудников университета, а также структуру потерь (табл. 7.9).

Таблица 7.9

Исходные данные для решения задачи 1

Исходные данные	Номер варианта			
	1	2	3	4
Время суток	Ночь, ясно	Ночь, полужасно	Ночь, ясно	Ночь, полужасно
Температура воздуха, °С	0	-20	+10	+20
Обеспеченность СИЗ, %:				
а) рабочие и служащие комбината	100	90	80	70
б) сотрудники университета	Без средств индивидуальной защиты			
Количество рабочих и служащих комбината	120	100	110	130
Количество сотрудников университета	600	500	550	650

Задача 2. На маргариновом заводе разрушена необвалованная емкость, содержащая 2,5 т аммиака. Местность – открытая; ветер – юго-западный со скоростью 1 м/с. Расстояние от завода до БГУИР составляет 0,9 км.

Определить:

- а) размеры и площадь зоны химического заражения;
- б) время подхода зараженного воздуха в район БГУИР;
- в) время поражающего действия аммиака в районе БГУИР;
- г) возможные потери рабочих и служащих комбината и сотрудников университета, а также структуру потерь (табл. 7.10).

Таблица 7.10

Исходные данные для решения задачи 2

Исходные данные	Номер варианта			
	1	2	3	4
Время суток	Ночь, полужасно	Ночь, ясно	Ночь, полужасно	Ночь, ясно
Температура воздуха, °С	0	-10	-20	+20
Обеспеченность СИЗ, %: а) рабочие и служащие комбината б) сотрудники университета	60	80	70	90
	Без средств индивидуальной защиты			
Количество рабочих и служащих комбината	100	90	110	95
Количество сотрудников университета	400	450	350	375

Задача 3. На предприятии БЕЛВАР разрушена обвалованная емкость, содержащая 10 т аммиака. Местность – открытая; ветер – юго-западный со скоростью 1 м/с. Расстояние от завода до БГУИР составляет 0,3 км.

Определить:

- размеры и площадь зоны химического заражения;
- время подхода зараженного воздуха в район БГУИР;
- время поражающего действия аммиака в районе БГУИР;
- возможные потери рабочих и служащих комбината и сотрудников университета, а также структуру потерь (табл. 7.11).

Таблица 7.11

Исходные данные для решения задачи 3

Исходные данные	Номер варианта			
	1	2	3	4
Время суток	Ночь, ясно	Ночь, пасмурно	Ночь, ясно	День, пасмурно
Температура воздуха, °С	0	-10	+10	+20
Обеспеченность СИЗ, %: а) рабочие и служащие комбината б) сотрудники университета	100	90	80	70
	Без средств индивидуальной защиты			
Количество рабочих и служащих комбината	100	150	172	200
Количество сотрудников университета	600	550	500	650

Контрольные вопросы

1. Какие пути проникновения ядовитых веществ в организм человека и единицы измерения токсической дозы при разных путях проникновения?
2. Что такое инверсии, конвекции и изотермии?
3. Каковы способы оценки химической обстановки? Поясните их сущность.
4. В чем смысл выявления и оценки химической обстановки?
5. Каковы источники добывания сведений, необходимых для оценки химической обстановки?
6. Назовите параметры зоны химического заражения и поясните их сущность.
7. Назовите перечень исходных данных, необходимых для оценки химической обстановки.

Литература

1. ГОСТ 22.0.07–97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров. – Введ. 2003–01–01. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2002.
2. ГОСТ 22.0.05–97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – Введ. 1999–07–01. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 1997.
3. ГОСТ 22.8.05–2002. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательные работы при ликвидации последствий аварий на химически опасных объектах. – Введ. 2005–01–01. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2003.
4. ГОСТ 22.3.06–2002. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Средства индивидуальной защиты от радиоактивных веществ. Общие технические требования. – Введ. 2005–01–01. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2003.
5. Атаманюк, В. Г. Гражданская оборона : учебник для вузов / В. Г. Атаманюк, Л. Г. Ширшев, Н. И. Акимов. – М. : Высш. шк., 1986. – 207 с.
6. Современные приборы химической разведки и контроля / А. Н. Воринин [и др.]. – СПб. : СПб ГКУ ДПО «УМЦ ГО и ЧС», 2019. – 77 с.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Высокой точности	От 0,30 до 0,50 включительно	III	а	малый	темный	2000	200	500	40	15						
				средний	средний	1500	200	400	20	15						
				большой	темный	1000	200	300	40	15						
			б	малый	темный	750	200	200	20	15						
				средний	средний	750	200	300	40	15						
				большой	темный	600	200	200	20	15						
		IV	От 0,5 до 1,0 включительно	а	малый	темный	750	200	300	40	20					
					средний	средний	500	200	200	40	20					
					большой	темный	400	200	200	40	20					
				б	малый	темный	750	200	300	40	20					
					средний	средний	500	200	200	40	20					
					большой	темный	400	200	200	40	20					
Средней точности	От 1,0 до 5,0 включительно	V	а	малый	темный	400	200	300	40	20						
				средний	средний	–	–	200	40	20						
				большой	темный	400	200	300	40	20						
			б	малый	темный	–	–	200	40	20						
				средний	темный	–	–	200	40	20						
				большой	темный	–	–	200	40	20						
		VI	От 5,0 до 10,0 включительно	а	малый	темный	400	200	300	40	20					
					средний	средний	–	–	200	40	20					
					большой	темный	400	200	300	40	20					
				б	малый	темный	–	–	200	40	20					
					средний	темный	–	–	200	40	20					
					большой	темный	–	–	200	40	20					
Малой точности	От 10,0 до 50,0 включительно	VII	а	малый	темный	400	200	300	40	20						
				средний	средний	–	–	200	40	20						
				большой	темный	400	200	300	40	20						
			б	малый	темный	–	–	200	40	20						
				средний	темный	–	–	200	40	20						
				большой	темный	–	–	200	40	20						
		VIII	От 50,0 до 100,0 включительно	а	малый	темный	400	200	300	40	20					
					средний	средний	–	–	200	40	20					
					большой	темный	400	200	300	40	20					
				б	малый	темный	–	–	200	40	20					
					средний	темный	–	–	200	40	20					
					большой	темный	–	–	200	40	20					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Очень малой точности	Более 5,0	VI	–	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	–	То же	–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное	–	VIII	a	>>	–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
периодическое, при постоянном пребывании людей в помещении	–	VIII	б	>>	–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2
периодическое, при периодическом пребывании людей в помещении	–	VIII	в	>>	–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
Общее наблюдение за инженерными коммуникациями	–	VIII	г	>>	–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

Примечания:

1. Для подразряда норм от Ia до IIIв может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в графах 7–11.
2. Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительной работы установлены при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего.
3. Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различения и относить их к подразряду «в».
4. Показатель освещенности регламентируется в графе 10 только для общего освещения (при любой системе освещения).

Таблица П.1.2

Коэффициент запаса для различных видов освещения

Количество пыли, дыма и копоти в производственных помещениях с воздушной средой (мг/м ³)	Коэффициент запаса K_z	
	естественное освещение	искусственное освещение
Свыше 5	1,5–1,8	1,6–2,0
От 1 до 5	1,4–1,6	1,6–1,8
Менее 1	1,3–1,5	1,4–1,5

Таблица П.1.3

Значения световой характеристики окон η_0 при боковом освещении

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

Таблица П.1.4

Значение коэффициента K_ϕ

Тип фонаря	Значения коэффициента K_ϕ
Световые проемы в плоскости покрытия (ленточные)	1
Световые проемы в плоскости покрытия (штучные)	1,1
Фонари с наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные)	1,15
Фонари с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные)	1,2
Фонари с односторонним наклонным остеклением (шеды)	1,3
Фонари с односторонним вертикальным остеклением (шеды)	1,4

Таблица П.1.5

Сортамент светильников с люминесцентными лампами и рекомендации по их применению

Серия, тип	Число, шт. × мощность, Вт	Характеристика помещения, модификация, исполнение	Длина, мм
1	2	3	4
ЛСП 02	2×36, 2×58	Общее освещение производственных зданий: с решеткой подвесной	1240 1540
ЛСП 24	1×40, 2×40, 2×36, 2×58	Общее освещение пыльных и влажных производственных зданий: с решеткой подвесной	1290 1590

1	2	3	4
ЛСП 40	2×40	Общее освещение пыльных и влажных производственных зданий: с рассеивателем	1279
ЛСП 44	1×40, 2×40	Общее освещение сырых и пыльных промышленных зданий, помещений с химически агрессивными средами, складских и пожароопасных помещений: корпус и рассеиватель из поликарбоната, подвесной	1279
ЛПО 46	2×36, 2×40	Общее освещение производственных зданий: потолочный	1235
ШОД	2×40, 2×80	Общее освещение: с решеткой, диффузионный	1520
ОД	2×30, 2×40, 2×80, 2×125	Общее освещение: диффузионный	1520

Таблица П.1.6

Оптимальные значения отношений расстояния между светильниками к высоте подвеса над рабочей поверхностью

Тип светильника	Отношение $\lambda = \frac{l}{h_p}$	
	однорядное расположение светильников	многорядное расположение светильников
Светильники с люминесцентными лампами: без решетчатых затенителей (ЛСП, ЛПО, ЛД, ПВЛП, ЛСУ1ПЗ) с решетчатыми затенителями (ШОД, ОДР)	1,35 (1,7) 1,25 (1,5)	1,8 1,5
Светильники с лампами накаливания: повышенной надежности и взрывопороницаемости с отражателем (ВВГ, НЧБН) люцетта цельного стекла (ЛЦ)	1 (2,4) 1,4	1,6 (1,8) 1,6
Универсаль, универсаль с затенителем, универсаль с отражателем: излучатель глубоко эмалированный (ГЭ) с алюминиевым незеркальным отражателем (ГС, ГсУ)	1,6 (1,8) 1,4 (1,7)	1,5 (1,8) 1,6 (1,8)

Примечание. В скобках указаны наиболее допустимые значения λ .

Таблица П.1.7
Коэффициенты использования светового потока для светильников с люминесцентными лампами

Типы светильников	Коэффициент использования осветительной установки η , %										Од			
	ЛСП 02	ЛПО 46	ЛСП 24	ЛСП 44	ЛПО 40	ШОД	ЛСП 02	ЛПО 46	ЛСП 24	ЛСП 44		ЛПО 40	ШОД	Од
ρ_n , %	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70 70 50 30 0	70
ρ_c , %	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50 50 30 10 0	50
$\rho_{p.n.}$, %	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30 10 10 10 0	30
Индекс помещения i	Коэффициент использования осветительной установки η , %													
0,5	28 27 21 18 16	30 28 20 16 14	22 18 13 11 9	28 27 20 13 11	27 26 21 16 15	23	28 27 21 18 16	30 28 20 16 14	22 18 13 11 9	28 27 20 13 11	27 26 21 16 15	23	28 27 21 18 16	22
0,6	33 32 25 22 20	34 32 24 20 18	25 23 17 14 12	33 32 22 17 14	32 30 24 20 18	29	33 32 25 22 20	34 32 24 20 18	25 23 17 14 12	33 32 22 17 14	32 30 24 20 18	29	33 32 25 22 20	28
0,7	38 36 30 26 24	38 36 29 24 22	28 27 20 16 15	38 36 27 20 17	37 31 27 25	33	38 36 30 26 24	38 36 29 24 22	28 27 20 16 15	38 36 27 20 17	37 31 27 25	33	38 36 30 26 24	32
0,8	42 39 33 29 28	42 40 32 27 24	31 29 23 19 17	42 40 30 23 20	40 37 31 27 25	37	42 39 33 29 28	42 40 32 27 24	31 29 23 19 17	42 40 30 23 20	40 37 31 27 25	37	42 39 33 29 28	35
0,9	46 42 37 32 31	47 43 36 30 28	34 32 26 21 19	47 44 34 26 22	44 40 34 30 28	40	46 42 37 32 31	47 43 36 30 28	34 32 26 21 19	47 44 34 26 22	44 40 34 30 28	40	46 42 37 32 31	38
1,0	49 45 40 35 34	50 46 39 33 30	37 34 28 23 21	51 47 37 29 25	47 43 37 32 30	41	49 45 40 35 34	50 46 39 33 30	37 34 28 23 21	51 47 37 29 25	47 43 37 32 30	43	49 45 40 35 34	41
1,1	52 48 42 38 36	53 49 41 35 32	39 36 30 25 23	54 50 39 31 27	49 45 39 34 32	43	52 48 42 38 36	53 49 41 35 32	39 36 30 25 23	54 50 39 31 27	49 45 39 34 32	46	52 48 42 38 36	43
1,25	55 50 45 40 39	56 52 44 38 35	42 38 32 27 25	57 53 42 34 29	52 48 42 37 34	46	55 50 45 40 39	56 52 44 38 35	42 38 32 27 25	57 53 42 34 29	52 48 42 37 34	49	55 50 45 40 39	46
1,5	60 54 49 45 44	61 56 48 42 39	46 42 36 30 28	63 57 47 38 33	56 51 46 41 38	50	60 54 49 45 44	61 56 48 42 39	46 42 36 30 28	63 57 47 38 33	56 51 46 41 38	54	60 54 49 45 44	50
1,75	63 57 52 48 47	65 59 52 46 42	49 44 38 33 30	67 61 50 42 36	59 54 49 44 41	53	63 57 52 48 47	65 59 52 46 42	49 44 38 33 30	67 61 50 42 36	59 54 49 44 41	57	63 57 52 48 47	53
2,0	65 59 55 51 49	68 61 54 48 44	51 46 40 35 32	70 63 53 44 38	62 56 50 46 43	55	65 59 55 51 49	68 61 54 48 44	51 46 40 35 32	70 63 53 44 38	62 56 50 46 43	60	65 59 55 51 49	55
2,25	68 62 57 53 52	70 64 56 50 46	53 48 42 37 34	73 66 55 47 40	61 58 52 48 45	57	68 62 57 53 52	70 64 56 50 46	53 48 42 37 34	73 66 55 47 40	61 58 52 48 45	63	68 62 57 53 52	57
2,5	70 63 58 55 54	73 66 58 52 48	55 50 43 39 35	76 68 57 49 42	63 53 47 41	59	70 63 58 55 54	73 66 58 52 48	55 50 43 39 35	76 68 57 49 42	63 53 47 41	65	70 63 58 55 54	59
3,0	73 65 61 58 56	76 68 60 55 50	58 52 45 41 37	80 71 60 52 44	68 62 56 52 48	61	73 65 61 58 56	76 68 60 55 50	58 52 45 41 37	80 71 60 52 44	68 62 56 52 48	68	73 65 61 58 56	61
3,5	75 67 62 60 58	78 69 62 57 52	60 53 47 43 39	82 73 62 54 46	70 63 57 53 50	63	75 67 62 60 58	78 69 62 57 52	60 53 47 43 39	82 73 62 54 46	70 63 57 53 50	71	75 67 62 60 58	63
4,0	77 68 64 61 69	80 71 64 59 53	61 54 48 44 40	85 75 64 56 48	72 64 68 55 51	65	77 68 64 61 69	80 71 64 59 53	61 54 48 44 40	85 75 64 56 48	72 64 68 55 51	73	77 68 64 61 69	65
5,0	80 70 67 65 62	84 74 67 62 56	65 57 51 48 43	90 79 69 61 52	76 66 61 58 53	67	80 70 67 65 62	84 74 67 62 56	65 57 51 48 43	90 79 69 61 52	76 66 61 58 53	76	80 70 67 65 62	67

Таблица П.1.8

Технические данные люминесцентных ламп

Тип лампы	Световой поток, лм	Длина лампы, мм
ЛД 36-7	2300	1213,6
ЛХБ 36-7	2700	
ЛБ 36-7	2800	
ЛТБ 36-7	2800	
ЛД 40-7	2300	1213,6
ЛХБ 40-7	2700	
ЛБ 40-7	2800	
ЛБ 40-4	3000	
ЛТБ 40-7	2800	1517,2
ЛД 58-7	3750	
ЛХБ 58-7	4400	
ЛБ 58-7	4600	
ЛТБ 58-7	4600	1514,2
ЛД 65-7	3750	
ЛХБ 65-7	4400	
ЛБ 65-7	4600	
ЛТБ 65-7	4600	1514,2
ЛД 80-7	4250	
ЛХБ 80-7	5000	
ЛБ 80-7	5200	
ЛТБ 80-7	5200	1512,8
ЛД 90	4500	
ЛХБ 90	5300	
ЛТБ 90	5000	

Таблица П.1.9

Коэффициент отражения света цветовыми поверхностями

Цвет окрашенной поверхности	Коэффициенты отражения
Зеленый светлый	40–50
Зеленый темный	20–30
Серо-голубой светлый	40–50
Серо-голубой темный	20–30
Кремовый	50–60
Коричневый	20–30
Серый светлый	40–50
Серый темный	20–30
Белый	65–75
Желтовато-белый	65–75

Таблица П.1.10

Коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах

Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	Коэффициент
Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (межстекольные, внутренние, наружные)	1
Стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи под углом 90° к плоскости окна:	
горизонтальные	0,65
вертикальные	0,75
Горизонтальные козырьки:	
с защитным углом не более 30°	0,8
с защитным углом от 15 до 45° (многоступенчатые)	0,6–0,9

Таблица П.1.11

Коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении благодаря свету, отраженному от поверхности помещения

Отношение высоты помещения к ширине пролета	Значения коэффициента								
	Средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола								
	$\rho_{\text{ср}} = 0,5$			$\rho_{\text{ср}} = 0,4$			$\rho_{\text{ср}} = 0,3$		
	Количество пролетов								
	1	2	3 и более	1	2	3 и более	1	2	3 и более
2	1,7	1,5	1,15	1,6	1,4	1,1	1,4	1,1	1,05
1	1,5	1,4	1,15	1,4	1,3	1,1	1,3	1,1	1,05
0,75	1,45	1,35	1,15	1,35	1,25	1,1	1,25	1,1	1,05
0,5	1,4	1,3	1,15	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1	1,05
0,25	1,35	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05

Выбор автоматических пожарных извещателей в зависимости от назначения помещения (извлечение из СН 2.02.03–2019):

1. ТЕПЛОВОЙ. Помещения для производства и хранения продуктов и материалов с выделением пыли, муки, комбикормов; жилые помещения; больничные палаты; помещения предприятий торговли, общественного питания, бытового обслуживания; административные помещения.

2. ТЕПЛОВОЙ ИЛИ ДЫМОВОЙ. Помещения для производства и хранения изделий из древесины; синтетических смол; синтетических волокон; полимерных материалов; швейных, обувных, трикотажных, табачных изделий; резины; радиотехнических изделий; горючих рентгеновских и фотопленок; негорючих материалов в сгораемой упаковке, твердых сгораемых материалов; помещения предприятий по обслуживанию автомобилей; административно-хозяйственные помещения; машиносчетные станции; пульта управления; помещения (сооружения) для прокладки кабелей; помещения для трансформаторов, распределительных и щитовых устройств.

3. ДЫМОВОЙ. Помещения электронно-вычислительной техники, электронных регуляторов, управляющих машин, АТС, радиоаппаратных; книгохранилища; архивы; гардеробные; коридоры; фойе; холлы; зрительные, лекционные, читальные и конференц-залы; аппаратные и другие помещения в общественных зданиях.

4. ТЕПЛОВОЙ ИЛИ СВЕТОВОЙ. Помещения для производства и хранения лаков, красок, растворителей, ЛВЖ, ГЖ, смазочных материалов, химических реактивов; производства бумаги, картона, обоев; помещения для оборудования и трубопроводов по перекачке горючих жидкостей и масел, наполнения баллонов горючими газами; помещения для испытания двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры.

5. ДЫМОВОЙ ИЛИ СВЕТОВОЙ. Помещения музеев и выставок.

6. СВЕТОВОЙ. Помещения для производства и хранения щелочных металлов, металлических порошков, синтетического каучука.

Рекомендации по использованию дымовых и тепловых ПИ приведены в табл. П.2.1 и П.2.2.

Таблица П.2.1

Рекомендации по использованию дымовых ПИ
(извлечение из СН 2.02.03–2019)

Высота установки ПИ, м	Площадь, контролируемая 1 ПИ, м ²	Максимальное расстояние, м	
		между ПИ	от ПИ до стены
До 3,5	До 85	9,0	4,5
Свыше 3,5 до 6,0	До 70	8,5	4,0
Свыше 6,0 до 10,0	До 65	8,0	4,0
Свыше 10,0 до 12,0	До 55	7,5	3,5

Рекомендации по применению тепловых ПИ
(извлечение из СН 2.02.03–2019)

Высота установки ПИ, м	Площадь контролируемая 1 ПИ, м ²	Максимальное расстояние, м	
		между ПИ	от ПИ до стены
До 3,5	До 25	5,0	2,5
Свыше 3,5 до 6,0	До 20	4,5	2,0
Свыше 6,0 до 9,0	До 15	4,0	2,0

Библиотека БГУИР

Рекомендации по применению ручных ПИ (извлечение из СН 2.02.03–2019):

1. Ручные ПИ следует устанавливать как внутри, так и вне зданий на стенах и конструкциях на высоте 1,6 м от уровня пола или земли.

2. Внутри зданий ПИ устанавливают на путях эвакуации (в коридорах, проходах, лестничных клетках и т. д.). Расстояние между ПИ должно быть не более 50 м. ПИ устанавливаются по одному на всех лестничных площадках каждого этажа. Вне зданий ПИ следует устанавливать на расстоянии не более 150 м один от другого. Места установки ПИ должны иметь искусственное освещение.

3. Ручные ПИ можно включать в самостоятельный шлейф пожарной сигнализации или совместно с автоматическими ПИ.

Температура срабатывания максимальных и максимально-дифференциальных ПИ должна быть не менее чем на 20 °С выше максимально допустимой температуры в повышении (в зоне установки ПИ).

Рекомендации по установке ПИ в ЭПС или АПС (извлечение из СН 2.02.03–2019):

1. В одном помещении следует использовать не менее двух ПИ.
2. Дымовые и тепловые ПИ следует устанавливать в каждом отсеке потолка, ограниченном строительными конструкциями (балками, ребрами плит и т. п.), выступающими от потолка на 0,4 м и более.
3. Автоматические ПИ следует устанавливать на каждом отсеке помещения, образованном штабелями материалов, стеллажами, оборудованием, строительными конструкциями.
4. Если установка пожарной сигнализации предназначена для управления автоматическими установками пожаротушения, дымоудаления и оповещения о пожаре, то каждую точку помещения необходимо контролировать не менее чем двумя автоматическими ПИ. Максимальное расстояние между дублирующими тепловыми или дымовыми ПИ в этом случае равно половине нормативного (см. прил. 3).
5. Каждую точку поверхности, защищаемую световыми ПИ, необходимо контролировать не менее чем двумя ПИ.

Учебное издание

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В трех частях

Часть 3

Телеш Инна Анатольевна
Камлач Павел Викторович
Цявловская Наталья Владимировна и др.

ОХРАНА ТРУДА

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Е. С. Юрец*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная правка, оригинал-макет *А. А. Луцикова*

Подписано в печать 02.06.2022. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 9,65. Уч.-изд. л. 10,0. Тираж 100 экз. Заказ 69.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск