

**БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
(ЧАСТЬ 2)**

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра безопасности производств

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ЧАСТЬ 2)

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 613.64; 331.451 (073)

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ЧАСТЬ 2):
Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.В. Корнев, А.В. Пасынков*. СПб, 2020. 77 с.

Изложены методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело».

Научный редактор проф. *М.Л. Рудаков*

Рецензент проф. *М.А. Галишев* (Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2020

**БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
(ЧАСТЬ 2)**

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *А.В. Корнев, А.В. Пасынков*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
безопасности производств

Ответственный за выпуск *А.В. Корнев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 16.06.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 4,5. Усл.кр.-отт. 4,5. Уч.-изд.л. 4,3. Тираж 50 экз. Заказ 395.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире для обеспечения безопасности человека и поддержания его производительности труда на высоком уровне необходимо уметь идентифицировать и оценивать различные вредные факторы. В частности, человек в повседневной деятельности подвергается воздействию неионизирующих, а в некоторых случаях, и ионизирующих излучений, отличающихся частотным диапазоном, длиной волн и иными характеристиками. В связи с этим будущим квалифицированным инженерам необходимо знать физическую природу негативно воздействующих факторов, наиболее важные их параметры, основные принципы их гигиенического нормирования и методы защиты. Неотъемлемой частью подготовки специалистов является приобретение ими практических навыков оценки условий труда и безопасности жизнедеятельности человека, умений пользования современными приборами и оборудованием, предназначенными для вышеуказанных целей, а также проверки их работоспособности.

Настоящие методические указания подготовлены для изучения студентами практических методов контроля, оценки и обеспечения безопасных условий труда в соответствии с программой курса «Безопасность жизнедеятельности».

В методические указания включены лабораторные работы по оценке уровня радиационной обстановки, измерению интенсивности сверхвысокочастотного и теплового излучений, определению параметров искусственного освещения.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Требования к порядку выполнения лабораторных работ

К проведению лабораторных работ допускаются только студенты, прошедшие инструктаж по охране труда, инструктаж по пожарной безопасности с оформлением в соответствующих журналах регистрации инструктажа. Студенты, не прошедшие инструктажи и (или) не внесенные в соответствующие журналы с подтверждающей подписью, к выполнению лабораторных работ не допускаются. Ответственность за проведение инструктажей с оформлением соответствующих записей в журналах, а также контроль за соблюдением студентами во время проведения лабораторных работ требований инструкций возлагается на преподавателя, ведущего лабораторные работы. Лабораторные работы выполняются студентами в подгруппах по 2-4 человека.

До начала выполнения работы студентам необходимо:

- изучить методические указания к лабораторной работе, обратив внимание на цель и порядок проведения работы, устройство приборов, стендов, оборудования, правила пользования ими;
- подготовить таблицы, необходимые для внесения измеренных параметров и результатов расчета;
- проверить визуальным осмотром комплектность и исправность оборудования, при обнаружении каких-либо неисправностей сообщить преподавателю и (или) заведующему лабораторией;
- сообщить преподавателю о готовности к выполнению работы, изложить цель и порядок проведения измерений, устройство и правила пользования установкой и приборами, получить при необходимости дополнительные разъяснения;
- приступить к выполнению работы, получив у преподавателя разрешение.

Во время выполнения работы студенты должны:

- соблюдать организованность и дисциплину;
- бережно относиться к используемым приборам и оборудованию лаборатории;
- строго следовать методическим указаниям и инструкциям;

– при обнаружении неисправностей в установке, искрении, появлении постороннего шума, запаха дыма, немедленно сообщить преподавателю и (или) заведующему лабораторией.

При нахождении в лаборатории студентам запрещается:

– включать установку и приборы без разрешения преподавателя, использовать их не по назначению;

– задействовать оборудование, не относящееся к выполняемой лабораторной работе;

– отключать без необходимости лабораторную установку до окончания выполнения всех требуемых в работе замеров;

– выходить из лаборатории без разрешения преподавателя;

– использовать мобильные телефоны не для учебных целей;

– включать без разрешения зарядные устройства мобильных телефонов в розетки, расположенные в лаборатории.

По окончании выполнения работы, необходимо:

– выключить установку, приборы и оборудование;

– убрать за собой мусор, использованные расходные материалы, вернуть методические указания на место;

– сообщить преподавателю об окончании работ и представить ему таблицу с результатами измерений;

– произвести обработку полученных данных и соответствующие расчеты, предоставив результаты на проверку преподавателю.

Лабораторная работа считается правильно и полностью выполненной после того, как возле таблиц с результатами измерений и расчетов стоит отметка преподавателя о проверке.

Требования к оформлению, структуре, содержанию и защите отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе оформляется машинописным текстом на листах бумаги формата А4 с полями: слева – 30 мм, справа, снизу и сверху – 20 мм. Шрифт – Times New Roman, кегль 12-14, межстрочный интервал 1,25-1,5. Нумерация страниц – сквозная, включая таблицы, иллюстрации и приложения. Формулы должны быть набраны в редакторе формул и пронумерованы. Не допускается вместо знака умножения использовать «*», в качестве значка степени – «^». Рисунки, схемы, фото, графики подписываются

текстом, расположенным ниже объекта и выровненным по центру. Условные обозначения на изображениях должны быть пояснены в подрисуночных подписях. Каждый график должен иметь наименования осей с указанием единиц измерений параметров. Если на одном графике представлено несколько кривых (прямых), то они должны быть обозначены различными маркерами или иметь отличные друг от друга цвета, а также должна быть представлена их «легенда». Ряды в «легенде» должны быть подписаны. Если представлен один график, то «легенда» не требуется. Названия таблиц указываются перед таблицей по левому краю с указанием номера таблицы. На все формулы, рисунки и таблицы должны быть даны ссылки, расположенные выше по тексту.

Отчет по лабораторной работе должен иметь следующую структуру:

– титульный лист с указанием списка исполнителей и их подписями (Приложение 1);

– цель работы;

– краткие теоретические сведения;

– используемые приборы и оборудование с их схематичным изображением и фото;

– порядок выполнения работы;

– таблица с результатами измерений;

– обработка данных (с указанием расчетов);

– таблица с результатами расчета;

– выводы.

Наименования основных разделов должны быть выделены жирным шрифтом. В «краткие теоретические сведения» рекомендуется включать помимо приведенных в методических указаниях данных, информацию, дополненную студентом по результатам самостоятельной работы его в библиотеке, с электронными и интернет-ресурсами. Порядок выполнения работы должен содержать описание последовательности действий, фактически выполненных студентами в ходе замеров. В разделе «Обработка данных» должны быть приведены расчеты в логической последовательности с указанием полученных результатов, сведенных в таблицу. Выводы являются наиболее важной частью

отчета, отражающей полноту понимания студентом всей проделанной работы и полученных зависимостей. Выводы не должны полностью копировать цель работы или повторять ход ее выполнения. Здесь должен быть представлен анализ полученных результатов, а не пересказ того, что в работе было сделано. Важно показать какие результаты были получены, какие факторы и каким образом влияют на эти результаты, с чем это связано. Отчет оформляется один на подгруппу студентов, выполнявших одну и ту же работу с указанием на титульном листе их ФИО. Защита отчета по лабораторной работе производится подгруппой в том же составе, которым и выполнялась. В случае отсутствия кого-то из студентов в день защиты, отсутствовавший студент распечатывает отдельно отчет и защищает работу в другой день в индивидуальном порядке. При защите каждому студенту поочередно задаются вопросы по основным разделам работы и из перечня контрольных вопросов, приведенных для самопроверки к каждой лабораторной работе.

Лабораторная работа № 1.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы – измерение, оценка и сравнение с нормами радиационной безопасности уровня ионизирующего излучения.

Теоретические сведения

Радиоактивность или радиоактивный распад – это самопроизвольный распад атомных ядер некоторых химических элементов (нестабильных нуклидов или радионуклидов), например, урана, тория, радия, сопровождаемый ионизирующим излучением.

Нуклид – это вид атомов с данным числом протонов и нейтронов в ядре, характеризующийся массовым числом A (атомной массой) и атомным номером Z .

Изотоп – это химический элемент, ядро атома которого содержит одинаковое число протонов, но различное число нейтронов.

Различные радиоактивные вещества отличаются *активностью* (A), которая характеризуется числом произвольных ядерных превращений dN в этом веществе за малый промежуток времени dt :

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (1)$$

Активность A измеряется в системе СИ – в беккерелях (Бк), или во внесистемных единицах – Кюри (Ки). Один беккерель равен одному распаду в секунду.

Ионизирующее излучение – это излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию в веществе электрических зарядов разных знаков (ионов). Различают корпускулярное и фотонное ионизирующее излучение.

Корпускулярное ионизирующее излучение – это потоки элементарных частиц, образующихся при радиоактивном распаде, в частности, α - и β -частиц, нейтронов, протонов, пи-мезонов.

Фотонное ионизирующее излучение представляет собой поток электромагнитных волн с высокой частотой и энергией (рентгеновское и γ -излучения).

α -излучение является потоком положительно заряженных частиц – ядер гелия (He^+). Они обладают весьма большой ионизирующей и очень малой проникающей способностью. Пролет α -частиц очень мал и в воздухе составляет до 10 см и в биоткани – до 0,1 мм. α -частицы полностью поглощаются листом бумаги, поэтому с точки зрения внешнего облучения α -частицы не представляют опасности для человека, за исключением случаев непосредственного контактного воздействия их на кожные покровы тела и слизистую оболочку глаз. Однако, при попадании их внутрь организма с воздухом, пищей и водой они могут оказать существенное поражающее действие на слизистую оболочку желудка и другие органы.

β -излучение – это поток β -частиц (электронов и позитронов), которые обладают в сотни раз меньшей ионизирующей способностью, чем α -частица. Они распространяются в воздухе на расстояние до 10-20 м, в биоткани – на 5-7 мм, в дереве – до 2,5 мм, в алюминии – до 1 мм. Скорость распространения β -частиц зависит от величины их энергии. Одежда человека почти наполовину ослабляет действие β -излучения. Оно практически полностью поглощается оконными и автомобильными стеклами, листом металла толщиной в несколько миллиметров. При непосредственном контакте с кожными покровами, попадании внутрь организма – опасно, как и α -излучение.

Рентгеновское излучение – это поток электромагнитных волн, энергия фотонов которых находится между ультрафиолетовым излучением и гамма-излучением (100 эВ-1 МэВ), что соответствует длинам волн $\lambda=10\text{-}10^{-3}$ нм.

γ -излучение представляет собой поток фотонов, энергия которых превышает 105 эВ, длина волны $\lambda=2\cdot 10^{-1}$ нм.

Рентгеновские лучи испускаются при участии электронов (либо связанных в атомах, либо свободных), в то время как гамма-излучение испускается в процессах девозбуждения атомных ядер. Однако резкой границы между гамма- и рентгеновским излучением

нет. Рентгеновское и гамма-излучения обладают небольшой ионизирующей способностью (в тысячи раз меньшей α -излучения), но большой проникающей способностью. γ -квант распространяется в воздухе на несколько сотен метров, свободно проникает сквозь одежду, тело человека и через материалы значительной толщины. Гамма-излучение представляет основную опасность для человека, как источник внешнего облучения.

Нейтронное излучение – это поток элементарных частиц, не имеющих электрического заряда с массой 1,00897 атомной единицы массы, которые преобразуют свою энергию в упругих и неупругих взаимодействиях с ядрами атомов. Свободный нейтрон нестабилен, при прохождении через вещество распадается, образуя протон, электрон и нейтрино с периодом полураспада $12,4 \pm 1,5$ минуты. При неупругих взаимодействиях возникает вторичное излучение, которое может состоять как из заряженных частиц, так и из гамма-квантов. При упругих взаимодействиях возможна обычная ионизация вещества (α , β - излучение). Проникающая способность нейтронов сравнима с γ -излучением. Лучшими для защиты от нейтронного излучения являются водородосодержащие материалы, например вода, парафин, полиэтилен, а также многослойные экраны из различных материалов (свинец-полиэтилен, сталь-вода).

Протонное излучение представляет собой поток элементарных частиц (протонов), несущих единичный положительный заряд (H^+) и обладающих массой, близкой к массе нейтронов. Протон – элементарная частица с массой, равной 1,00758 атомных единиц массы с положительным зарядом. Отличие протонного излучения от нейтронного заключается в том, что в конце пробега в тканях они образуют максимум ионизации, именуемых пиком Брегга-Грея. При этом доза в пике превосходит дозу в окружающих тканях в 2,5-3,5 раза. Генерируется протонное излучение в линейных ускорителях. При достаточно высокой энергии протоны могут проникать внутрь ядер атомов и вызывать ядерные реакции, в результате которых появляются вторичные частицы (нейтроны, альфа-частицы, фотоны) и искусственные радиоактивные нуклиды.

Пи-мезонное излучение – это поток элементарных частиц, имеющих промежуточную массу между электроном и протоном. Пи-мезоны могут быть положительно заряжены, отрицательно или нейтральные. Заряд положительных и отрицательных пи-мезонов равен заряду электрона, а масса составляет 273 массы электрона. Как и у протона, плотность ионизации у пи-мезонов растет к концу пробега. Однако в отличие от протонов, отрицательные пи-мезоны захватываются ядрами атомов кислорода, углерода, азота, водорода, а затем расщепляются с высвобождением громадного количества энергии, образуя при этом максимум ионизации. При этом соотношение дозы в пике к дозе окружающих тканей достигает 10:1. Основным источником пи-мезонов являются ядерные реакторы.

Влияние радиации на организм человека

Ионизирующие излучения (радиация) при воздействии на организм человека может вызвать детерминированные эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалия в развитии плода) и стохастические беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы).

Вредное действие ионизирующих излучений на начальном этапе взаимодействия с биотканью обусловлено их способностью ионизировать и возбуждать атомы и молекулы, входящие в состав живой клетки, и в первую очередь молекул воды, находящейся в организме в количестве 70 % и более. В результате ионизации образуют свободные радикалы H^+ и $OH\cdot$, которые вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов, что приводит к изменению биохимических процессов в организме сопровождающихся нарушением обменных процессов, возникновением новых химических соединений (токсинов) и химических реакций с вовлечением сотен тысяч молекул, не затронутых излучением (косвенное излучение). Это приводит к нарушению жизнедеятельности организма. Однократное облучение (т.е. полученное одновременно или дробно в течение 4 суток, когда организм еще не в состоянии проявить свои защитные свойства) в дозе 0,25 Гр не приводит к заметному изменению в организме. При дозе 0,25-0,5 Гр наблюдаются изменения в крови и другие незначительные нарушения. Дозы 0,5-1 Гр вызывают более

значительные изменения в крови и другие нарушения. В качестве пороговой однократной дозы общего облучения всего тела человека, выше которой возникает острая лучевая болезнь, принята доза, равная 1 Гр.

В процессе лучевой болезни выделяют 4 периода: первичной лучевой реакции, скрытый (латентный), разгара, восстановления и выздоровления. В зависимости от полученной дозы различают 4 степени лучевой болезни.

Лучевая болезнь 1-й степени (легкая степень поражения) возникает при однократной дозе облучения 1-2 Гр. Период первичной реакции начинается уже через 2-3 часа и длится до одних суток. Он сопровождается общей слабостью, повышенной утомляемостью, тошнотой. Скрытый период длится 3-5 недель. Период разгара приходится на 10-15 суток. Выздоровление наступает через 1-2 месяца.

Лучевая болезнь 2-й степени (средней тяжести) возникает при дозе облучения 2-4 Гр. Период первичной реакции начинается через 1-2 часа и длится до двух суток. Он сопровождается сильной головной болью, значительным повышением температуры, тошнотой и рвотой, расстройством функций желудочно-кишечного тракта, появлением кровотечений из внутренних органов. Скрытый период длится 10-15 суток. Выздоровление через 2-3 месяца. Смертельный исход в 20 % случаев.

Лучевая болезнь 3-й степени (тяжелая степень поражения) возникает при однократных дозах облучения 4-6 Гр. Период первичной реакции начинается через 10-60 минут и длится до 3-4 суток. Он сопровождается многократной, иногда неукротимой рвотой в течении 5-8 часов, резкой слабостью, головной болью, головокружением, шаткой походкой, жаждой. Скрытый период длится 5-10 суток. Период разгара – до 3-4 недель. Выздоровление возможно в условиях проведения своевременного и эффективного лечения не ранее чем через 3-6 месяцев. Смертность в 70 % случаев.

Лучевая болезнь 4-й степени (крайне тяжелая степень поражения) развивается при дозах облучения свыше 6 Гр. Период первичной реакции начинается через 10-15 минут и длится 3-4 суток. Характеризуется неукротимой рвотой, тяжелым состоянием.

Скрытый период отсутствует. Период разгара – как и при тяжелой стадии. Выздоровление маловероятно. Смерть наступает в течение двух недель.

Лучевое поражение кожи, как и лучевая болезнь, протекает в четыре стадии: ранняя лучевая реакция, скрытый период, период разгара и период заживления. В зависимости от полученной дозы поражения кожи могут быть: легкой степени – при местном облучении в дозах 8-10 Гр, средней – 10-20 Гр и тяжелой – 30 Гр и более. Продолжительность скрытого периода при легкой и тяжелой степени составляет соответственно от 2 до 1 недели. Полное восстановление кожи занимает от 2 до 6 месяцев и сопровождается шелушением, пигментацией кожи, а при тяжелой степени – образованием эрозии и язв.

Опасность внутреннего облучения людей радионуклидами, попавшими внутрь организма, зависит от многих факторов: физико-химических свойств радионуклидов, путей и продолжительности их поступления в организм, скорости выделения. Основными путями поступления радионуклидов внутрь организма человека являются ингаляционный (через органы дыхания) и пероральный (через желудочно-кишечный тракт).

При поступлении радионуклидов в легкие с вдыхаемым воздухом большое значение имеет степень дисперсности твердых частиц, склонность радионуклидов к гидролизу, период их полураспада. Большинство частиц размером более 5 мкм задерживаются в верхних дыхательных путях и не попадают в кровь. Частицы размером менее 1 мкм частично выдыхаются обратно, частично оседают в верхних дыхательных путях, около 25 % попадает в кровь. При долговременном взаимодействии происходит накопление радионуклидов в органах дыхания. Попадая в организм через желудочно-кишечный тракт, некоторые радионуклиды распределяются в нем равномерно, другие концентрируются в отдельных органах. Накопление радионуклидов неодинаково и характеризуется *кратностью накопления*, т.е. отношением максимального накопленного количества радионуклида в организме или органе к величине ежедневного накопления. Кратность накопления зависит от всасывания радионуклида, скорости его

выделения вследствие обменных процессов и периода полураспада радионуклида.

Например, йод-131 накапливается в щитовидной железе с кратностью 164; цезий-137 – в мышечной ткани с кратностью 2,6; в легких – 0,2; стронций-90 – в скелете с кратностью 91.

Скорость выведения радионуклида из организма зависит от его биологического периода полувыведения T_b (времени, в течение которого выводится половина попавшего в организм вещества) и период полураспада T , которые вместе определяют эффективный биологический период полувыведения $T_{эф}$. Труднее всего удаляются из организма радионуклиды, химически связанные с костной тканью, легче – накапливаемые в мягких тканях.

Гигиеническое нормирование ионизирующего излучения

Для оценки воздействия ионизирующих излучений используется понятие «доза». Различают экспозиционную, поглощенную и эквивалентную дозы излучения.

Экспозиционная доза $D_{экс}$ – полный заряд dQ ионов одного знака, возникающий в воздухе при полном торможении всех электронов, которые были образованы фотонами в малом объеме воздуха, деленный на массу воздуха dm в этом объеме:

$$D_{экс} = \frac{dQ}{dm} \quad (2)$$

Единица экспозиционной дозы в СИ – кулон, деленный на килограмм (Кл/кг). Кулон на килограмм равен экспозиционной дозе, при которой все электроны и позитроны, освобожденные фотонами в воздухе массой 1 кг, производят в воздухе ионы, несущие электрический заряд 1 Кл каждого знака.

Внесистемной единицей экспозиционной дозы, широко применяемой в медицине и работах по радиационной защите, является рентген (Р). Рентген – это единица экспозиционной дозы фотонного излучения, которая в 1 см^3 сухого воздуха при температуре 0°C и давлении 760 мм рт. ст. приводит к образованию $2,08 \times 10^9$ пар ионов, несущих заряд в одну электростатическую единицу электричества каждого знака.

Экспозиционная доза ($D_{\text{экс}}$) характеризует ионизационную способность рентгеновского и гамма-излучения в воздухе, т.е. является характеристикой поля фотонного, а не всех видов ионизирующего излучения, причем только в диапазоне энергий от нескольких кэВ до 3МэВ и только для воздуха. По этим причинам экспозиционная доза и ее мощность, а также все внесистемные единицы (кюри, рад, бэр, рентген) с 1.01.1990 г. были изъяты из употребления.

Однако в обращении находится еще много приборов радиационного контроля, шкалы которых проградуированы во внесистемных единицах – в рентгенах, радах, рентгенах в час, а также в кратных или дольных единицах (например, в мЛР или в мкР/ч).

Чтобы оценить при этом поглощенную дозу в биологической ткани, следует знать, что в условиях электронного равновесия экспозиционной дозе 1 Р соответствует поглощенная доза 0,873 рад в воздухе или 0,95 рад в биологической ткани. Поэтому с погрешностью до 5 % экспозиционную дозу в рентгенах и поглощенную дозу в ткани в радах можно считать совпадающими. Она характеризует потенциальную опасность воздействия излучения при общем и равномерном облучении тела человека.

Поглощенная доза излучения $D_{\text{полг}}$ – отношение средней энергии dW , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме:

$$D_{\text{полг}} = \frac{dW}{dm} \quad (3)$$

Единица поглощенной дозы в СИ – грей (Гр). Грей равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж, т.е. 1 Гр = 1 Дж/кг. Внесистемной единицей поглощенной дозы является Рад (1 рад = 0,01 Гр). Соотношение между поглощенной дозой излучения $D_{\text{полг}}$, выраженной в радах и экспозиционной дозой $D_{\text{экс}}$, выраженной в рентгенах имеет вид:

$$D_{\text{экс}} = 0,877 \cdot D_{\text{полг}} \quad (4)$$

Поглощенная доза дает количественную оценку действия, производимого любым ионизирующим излучением в веществе, и показывает какое количество энергии поглощено в единице массы облучаемого вещества.

Поглощенная доза ионизирующего излучения является мерой ожидаемых последствий облучения объектов как живой, так и неживой природы. Она не зависит от вида ионизирующего излучения и его энергии, но для одного и того же вида, и энергии излучения зависит от вида вещества. Поэтому, когда говорят о поглощенной дозе, необходимо указывать, к какой среде это относится: к воздуху, воде или другой среде. Поглощенная (экспозиционная) доза излучения, отнесенная в единице времени, называется *мощностью поглощенной (экспозиционной) дозы*.

В повседневной жизни человек подвергается хроническому облучению естественными и искусственными источниками ионизирующих излучений в малых дозах. Установлено, что в этом случае биологический эффект облучения зависит от суммарной поглощенной энергии и вида излучения. По этой причине для оценки радиационной безопасности при хроническом облучении человека в малых дозах, т.е. дозах, не способных вызвать лучевую болезнь, используется эквивалентная доза ионизирующего излучения.

Эквивалентная (амбиентная) доза ($D_{\text{экв}}$) указывает на различия в биологическом действии различных видов излучений и определяется как произведение поглощенной дозы на коэффициент качества ионизирующего излучения в данном элементе биологической ткани:

$$D_{\text{экв}} = D_{\text{погл}} \cdot K \quad (5)$$

Единица эквивалентной дозы в СИ – зиверт (Зв). Зиверт равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани стандартного состава на взвешивающий коэффициент качества излучения K (табл. 1, прил. 1) равно 1 Дж/кг. Внесистемной единицей эквивалентной дозы ионизирующего излучения является бэр. Поглощенная и эквивалентная дозы

характеризуют меру ожидаемого эффекта облучения для одного индивидуума. Эти величины являются индивидуальными дозами.

Эффективная доза (E) – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T D_{\text{экв}} \cdot K \quad (6)$$

где $D_{\text{экв}}$ – эквивалентная доза в органе или ткани, K – взвешивающий коэффициент для органа или ткани (табл. 2, прил. 1). Единица эффективной дозы – зиверт (Зв).

Эффективная (эквивалентная) годовая доза – сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год. Единица годовой эффективной дозы – зиверт (Зв).

Эффективная коллективная доза – мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы – человеко-зиверт (чел.-Зв).

Предотвращаемая доза – прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями.

Установлены следующие категории облучаемых лиц:

- *персонал группы А* – лица, непосредственно работающие с техногенными источниками излучения;
- *персонал группы Б* – лица, работающие на радиационном объекте или на территории его санитарно-защитной зоны и находящиеся в сфере воздействия техногенных источников;
- *население* – все лица, включая персонал вне работы с источниками ионизирующего излучения.

Основные пределы доз для персонала группы Б равны 0,25 от значений для персонала группы А (табл. 3, прил. 1). Эффективная доза, обусловленная облучением природными источниками облучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв/год в производственных условиях. При невозможности соблюдения указанного норматива допускается приравнивание соответствующих работников по условиям труда к персоналу группы А.

Отнесение условий труда на рабочем месте к классам условий труда при воздействии ионизирующего излучения производится согласно таблицы 4 приложения 1. Основные дозиметрические величины и их соотношения приведены в таблице 5 приложения 1.

Методы и средства защиты от ионизирующего излучения

Для защиты человека от внешнего облучения рентгеновским и гамма-излучением требуется соблюдать следующие меры безопасности:

- находиться на безопасном расстоянии от источника излучения;
- проводить работы с минимальным количеством радиоактивных веществ;
- сокращать продолжительность работы с радиоактивными веществами;
- применять защитные экраны;
- проводить контроль мощности дозы рентгеновского и гамма-излучений;
- проводить контроль за сбором, удалением и обезвреживанием радиоактивных твердых и жидких отходов.

Применение защитных экранов – наиболее эффективная мера. Для защиты от рентгеновского и гамма-излучений, имеющих очень высокую проникающую способность, применяют материалы с большой атомной массой и плотностью (свинец, серый чугун, вольфрам, углеродистая сталь, покрытая химически стойкой эмалью), а также освинцованное стекло, органическое стекло, бетон, кирпич, воду. Лучший материал для изготовления экрана – свинец.

Защита от открытых источников ионизирующих излучений предусматривает защиту, как от внешнего, так и от внутреннего облучения. Защита от внутреннего облучения заключается в том, чтобы не допустить попадания радионуклидов внутрь организма, и предусматривает следующие мероприятия:

- герметизация производственного оборудования;
- максимальная изоляция мест проведения работ с радиоактивными веществами от помещений, имеющих иное функциональное назначение;
- использование санитарно-гигиенических устройств (вентиляции, отопления, водоснабжения, канализации) и специальных защитных материалов;
- организация особого режима труда и отдыха;
- использование СИЗ;
- выполнение правил личной гигиены (запрет курения в рабочей зоне, тщательная очистка кожных покровов после окончания работы);
- дозиметрический контроль спецодежды, кожных покровов, использование индивидуальных дозиметров;
- контроль уровня радиации в помещениях.

Средства защиты общего применения включают устройства автоматического контроля, блокировки и сигнализации; устройства дистанционного управления; средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ (контейнеры и упаковочные комплекты); знаки безопасности (знак радиационной безопасности, предупредительные надписи); емкости для твердых и жидких радиоактивных отходов. На всех средствах защиты должен быть размещен знак радиационной безопасности.

Эффективными средствами коллективной защиты от ионизирующих излучений являются убежища, имеющие коэффициент защиты от 3000 до 5000 и противорадиационные укрытия с коэффициентом защиты от 50 до 200.

Средства индивидуальной защиты условно подразделяют на средства защиты для повседневного и кратковременного использования. К средствам повседневного использования относятся халаты, комбинезоны, костюмы, спецобувь и некоторые типы

противопылевых респираторов. Спецодежду для повседневного использования изготавливают из хлопчатобумажной ткани (верхняя одежда и белье). В случае воздействия на работающих агрессивных химических веществ верхняя одежда изготавливается из синтетических материалов – лавсана.

К средствам кратковременного использования относятся изолирующие и автономные костюмы, перчатки и пленочная одежда: фартуки, нарукавники, полукомбинезоны.

Спецобувь изготавливают из искусственной кожи, резины. Дополнительно можно применять пластиковые и резиновые бахилы и чехлы, галоши без подкладки, которые надевают поверх основной обуви. Средства защиты глаз представляют собой щиток из органического стекла, который защищает лицо и глаза при работах с источниками бета-излучения.

Для защиты рук от радиоактивного облучения применяют резиновые технические перчатки и перчатки из поливинилхлорида. В защитных боксах и вытяжных шкафах используют перчатки из натурального латекса и хлорпреновые специального назначения.

Приборы и оборудование, используемые в работе

Сцинтилляционный радиометр поисковый СРП-88. Конструктивно прибор состоит из двух блоков – пульта и блока детектирования, соединенных кабелем через разъем (рис. 1).



Рис.1. Прибор СРП-88

Пульт прибора состоит из устройства индикации и узла питания, где помещены 4 элемента А-343. Блок детектирования выполнен в виде трубы с рукояткой. Основным его элементом является кристалл NaI, который способен регистрировать

ионизирующие излучения и через систему усилителей выдавать информацию на жидкокристаллический дисплей. Принцип действия прибора основан на люминесцентном методе, заключающемся в том, что кристалл NaJ, являющийся сцинтилляционным детектором, выполняет роль преобразователя электромагнитного излучения в световые сигналы, которые затем с помощью фотоэлектронного умножителя преобразуются в электрические сигналы. На передней панели устройства индикации расположены: жидкокристаллический дисплей; стрелочный индикатор; переключатели «Порог» и «Диапазон».

Диапазон измерения прибора разбит на поддиапазоны: 0-300; 0-1000; 0-3000; 0-10000; 0-30000 с^{-1} . Время измерения прибора составляет 10 секунд в положении «0,1» и «0,3» переключателя «Диапазон» и 1 секунда при положении «1», «3», «10» и «30». Время установления рабочего режима прибора составляет не менее 1 минуты, поэтому при каждом новом измерении необходимо выждать это время перед снятием показаний с цифрового табло. Прибор работает от комплекта источников питания не менее 8 часов в интервале температур от -20 до $+50$ $^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерений не более 10 %.

Прибор комбинированный для измерения ионизирующих излучений РКСБ-104. Прибор (рис. 2) предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях.



Рис.2. Прибор РКСБ-104

Он выполняет функции дозиметра и радиометра и обеспечивает возможности измерения: мощности эквивалентной дозы гамма-излучения; плотности потока бета-излучения с поверхности; удельной активности радионуклида «цезий-137» в веществах.

Диапазон энергии регистрируемых излучений составляет для бета-излучения – 0,5-3 МэВ, для гамма-излучения – 0,06-1,25 МэВ.

Погрешность измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения составляет $\pm 25\%$. Время установления рабочего режима с момента включения не более 10 секунд. Прибор выдает прерывистый звуковой сигнал после окончания цикла измерения.

Отсчетным устройством прибора является жидкокристаллический индикатор, на табло которого при изменениях индицируются 4-разрядные числа – от 0000 до 9999.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с настоящим методическим указанием.

2. Подготовить прибор СРП-88 к работе.

2.1. Установить переключатели на устройстве индикации в исходное состояние: «ПОРОГ» в положение «ВЫКЛ», а «Диапазон» в положение «0,3», снять резиновый колпачок с торца блока детектирования.

2.2. Включить прибор, установив «ПОРОГ» в положение «БАТ», при этом на табло отображаются цифры, показывающие напряжение питания в вольтах, а стрелочный индикатор отклоняется вправо. При величине напряжения более 3,5 В элементы питания пригодны к работе.

2.3. Установить «ПОРОГ» в положение «ИЗМ» и «Диапазон» в положение «0,3». Приставить торец блока детектирования к месту расположения контрольного источника, совместив с окружностью на пульте. Неподвижно держа блок вплотную к источнику, через 1 минуту снять не менее 3-х показаний цифрового табло ($P_{изм}$) и вычислить среднеарифметическое значение ($P_{ср. изм}$). При всех измерениях первое показание к расчету не принимать.

2.4. Отвести торец блока детектирования от источника на расстояние не менее 0,5 м и зафиксировать не менее 3-х показаний

цифрового табло ($P_{иф}$) и вычислить среднеарифметическое значение ($P_{ср.ф.}$).

2.5. Определить значение показаний от контрольного источника (P_k) по формуле:

$$P_k = \frac{P_{ср.изм.} - P_{ср.ф.}}{K}, c^{-1} \quad (7)$$

где K – коэффициент, учитывающий изменение активности источника во времени, $K=0,09-0,12$.

2.6. Сравнить полученное значение P_k от контрольного источника с диапазоном $P_{пр}$, указанным на внутренней стороне крышки футляра прибора. При попадании P_k в диапазон $P_{пр}$ прибор работоспособен и после установки на торец блока детектирования резинового колпачка готов к работе. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу 1.

3. Провести измерения радиационного фона в не менее чем 3-х точках с помощью прибора СРП-88. В каждой точке сделать не менее чем по 3 измерения.

3.1. Установить переключатель «ПОРОГ» в положение «ИЗМ».

3.2. При проведении измерений следует установить переключатель «Диапазон» в положение «0,3».

3.3. Поместить блок детектирования в точку замера и считать показания цифрового табло после выхода прибора на режим. Время экспозиции в положении переключателя «Диапазон» «0,3» составляет 10 секунд, поэтому после помещения блока детектирования в новую измеряемую точку необходимо дать прибору сбросить 4-5 показаний и затем произвести отсчет, величину которого затем следует умножить на 1000.

3.4. Все замеры следует проводить при положении блока детектирования на расстоянии не менее 1 м от уровня пола или земли.

3.5 Полученные значения потока гамма-излучения (c^{-1}) записать в таблицу 2.

4. Провести измерения фонового значения ионизирующего излучения прибором РКСБ-104.

4.1. Перевести тумблеры РАБ ($\times 0,01 \times 0,01 \times 200$) и «ВКЛ» в верхнее положение.

4.2. Провести измерение в точке. Через 27-28 с прибор выдает прерывистый звуковой сигнал, а на табло индикатора отобразится 4-разрядное число.

4.3. Значащая часть 4-разрядного числа соответствует измеренной величине мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в мкР/ч. Полученные результаты измерений занести в таблицу 3.

Порядок обработки и анализа данных

1. Рассчитать мощность экспозиционной дозы (мкР/ч). Для этого полученное с помощью СРП-88 значение потока гамма-излучения (c^{-1}) необходимо разделить на величину чувствительности блока детектирования, указанную на внутренней стороне крышки футляра прибора.

2. Пользуясь формулами 4-6 и табличными данными приложения 1, рассчитать среднегодовые значения экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз на основе результатов измерений прибором СРП-88. Результаты расчетов записать в таблицу 2.

3. Рассчитать мощность эквивалентной дозы (мкЗв/ч), умножив мощность экспозиционной дозы (мкР/ч), полученную с помощью РКСБ-104, на пересчетный коэффициент 0,01.

4. Пользуясь формулами 4-6 и табличными данными приложения 1, рассчитать среднегодовые значения экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз на основе результатов измерений прибором РКСБ-104. Результаты расчетов записать в таблицу 3.

5. Оценить радиационную обстановку в замерных точках с учетом основных принципов нормирования ионизирующих излучений с использованием таблиц, приведенных в Приложении 1 и сделать выводы.

Таблица 1

Результаты подготовки прибора СРП-88 к работе

$N_{изм}$	$P_{i,изм}$	$P_{ср,изм}$	$P_{i,ф}$	$P_{ср,ф}$	P_k	$P_{пр}$	Готовность прибора
1							
2							
3							

Таблица 2

Результаты измерений ионизирующего излучения прибором СРП-88 и расчетов

№ изм.	Место замера	Поток γ излуч. , c^{-1}	Мощность экспозиционно й дозы, мкР/ч	Среднегодовые значения					
				экспозиционной дозы		поглощенной дозы		эквивалентной дозы	
				Кл/кг	Рентген	Грей	РАД	Зиверт	БЭР
1									
2									
3									

Таблица 3

Результаты измерений ионизирующего излучения прибором РКСБ-104

№ изм.	Место замера	Мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч	Мощность экспозиционно й дозы, мкР/ч	Среднегодовые значения					
				экспозиционной дозы		поглощенной дозы		эквивалентной дозы	
				Кл/кг	Р	Грей	РАД	Зиверт	БЭР
1									
2									
3									

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды ионизирующих излучений и кратко их охарактеризуйте.
2. В чем заключаются особенности биологического действия ионизирующих излучений на организм человека?
3. Сколько различают степеней лучевой болезни в зависимости от полученной дозы? Дайте краткую характеристику их.
4. В чем отличие между экспозиционной, поглощенной и эквивалентной дозами излучения?
5. Назовите годовые пределы доз ионизирующего излучения для персонала групп А и Б.

Лабораторная работа № 2.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Цель работы – знакомство с принципом установления норм безопасной работы человека с источниками электромагнитных полей и исследование эффективности экранирования источника сверхвысокочастотного излучения.

Теоретические сведения

Электромагнитные поля генерируются переменными токами. Спектр электромагнитных колебаний охватывает широкие диапазоны длин волн λ (от 1000 км до менее 0,001 мкм) и частот f (от $3 \cdot 10^2$ до $3 \cdot 10^{20}$ Гц). В настоящее время наиболее широкое применение в различных отраслях промышленности находит электромагнитная энергия неионизирующих излучений, прежде всего, полей радиочастот. Они подразделяются по длине волны и частоте на ряд диапазонов (табл. 4).

Таблица 4

Классификация ЭМП и их нормируемые параметры

Диапазон радиочастот	f , Гц	λ , м	Нормируемые величины
Высокие – ВЧ	30 кГц–3МГц	10000 – 100	E, H
Ультравысокие – УВЧ	3 МГц –300 МГц	100 – 1	$ЭН_E, ЭН_H$
Сверхвысокие – СВЧ	300 МГц – 300 ГГц	1 – 0,001	$I, ЭН_{ППЭ}$

ЭМП образуется из электрического поля, обусловленного напряжением на токоведущих частях электроустановок, и магнитного поля, возникающего при прохождении тока по этим частям. Электромагнитные волны распространяются на большие расстояния.

Источниками ЭМП являются электрические установки, работающие на переменном токе частотой от 10 до 10^6 Гц, приборы автоматики, электрические установки с промышленной частотой 50-60 Гц, установки высокочастотного нагрева (сушка древесины, склеивание диэлектриков, нагрев пластмасс),

радиолокационные системы, передающие антенны телевидения и радиовещания, дефектоскопы, сотовые системы телефонии, бытовые радиотелефоны, бытовые микроволновые печи.

Электромагнитное поле (ЭМП) – это совокупность двух неразрывно связанных между собой переменных полей, характеризующихся напряженностью электрической (E , В/м) и магнитной (H , А/м) составляющих. Изменение этого поля в пространстве происходит с той же частотой (f , Гц), с которой пульсирует ток в проводнике.

Расстояние, на которое распространяется электромагнитная волна за один период, называется длиной волны:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (8)$$

где c – скорость света, м/с; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Пространство вокруг источника ЭМП можно разделить на три зоны:

– зону индукции – формирования волны, которая находится на расстоянии:

$$R \leq \frac{\lambda}{2\pi} \quad (9)$$

– зону интерференции, которая характеризуется наличием максимумов и минимумов потока энергии и находится на расстоянии R от источника:

$$\frac{\lambda}{2\pi} \leq R \leq 2\pi\lambda \quad (10)$$

– зону излучения на расстоянии:

$$R \geq 2\pi\lambda \quad (11)$$

При распространении ЭМП происходит перенос энергии, величина которой определяется вектором Умова-Пойтинга:

$$I = E \cdot H \quad (12)$$

Скалярная величина этого вектора измеряется Вт/м^2 и называется *интенсивностью или плотностью потока энергии (ППЭ)*.

В первой зоне характеристическими критериями ЭМП являются отдельно напряженности электрической и магнитной составляющих, в зонах интерференции и излучения – комплексная величина ППЭ.

Процессы, происходящие в живых организмах под воздействием ЭМП, зависят от времени t , что учитывается энергетической нагрузкой ЭН, которая в зависимости от характеристических параметров определяется как:

$$\text{ЭН}_E = E^2 \cdot t, (\text{В/м})^2 \cdot \text{час} \quad (13)$$

$$\text{ЭН}_H = H^2 \cdot t, (\text{А/м})^2 \cdot \text{час} \quad (14)$$

$$\text{ЭН}_{\text{ППЭ}} = I \cdot t, (\text{Вт/м}^2) \cdot \text{час} \quad (15)$$

Влияние электромагнитных излучений на организм человека

Наиболее опасны для человека ЭМП высокой и сверхвысокой частот. Электромагнитные волны поглощаются тканями лишь частично, и биологический эффект зависит от физических параметров ЭМП: от длины волны, частоты колебаний, интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности и характера облучения организма (постоянное, интермиттирующее), а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения облучаемого органа или ткани.

Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к отражению падающей волны, от химического состава клеток и содержания в них воды. Колебания дипольных молекул воды и ионов, содержащихся в тканях, приводят к преобразованию электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом его участков, органов, особенно обладающих плохой терморегуляцией (хрусталик глаза, стекловидное тело, семенники и т.д.). Пороговые интенсивности теплового действия ЭМП на организм животного составляют для диапазона

средних частот 8000 Вт/м^2 , высоких 2250 Вт/м^2 , очень высоких 150 Вт/м^2 .

Постоянные изменения в крови: фазовые изменения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина – наблюдаются при ППЭ выше 1 мВт/см^2 . Воздействие ЭМП с уровнями, превышающими допустимые, приводят к изменениям функционального состояния сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, нарушению обменных процессов. Возможны отклонения со стороны эндокринной системы. В начальном периоде воздействия может повышаться возбудимость нервной системы, в последующем происходит снижение ее функций, что проявляется в астенических состояниях, т.е. физической и нервно-психической слабости. Для общей клинической картины хронического воздействия электромагнитных полей характерны головная боль, боли в области сердца, изменения кровяного давления и пульса, утомляемость, гипотония. Возможны незначительные изменения в крови.

Гигиеническое нормирование ЭМП

Гигиеническое нормирование параметров ЭМИ РЧ происходит на основании ГН 2.1.8./2.2.4.019-94 «Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи».

Системы сотовой радиосвязи в настоящее время получили широкое распространение. В работе этих систем используется следующий принцип: территория города (района) делится на небольшие зоны (соты) радиусом $0,5-1,0 \text{ км}$, в центре каждой зоны располагается базовая станция, обслуживающая в данной соте мобильные станции. К последним относятся автомобильные и ручные радиотелефоны. Системы сотовой радиосвязи работают в интервале радиочастот от 400 до 1200 МГц . Максимальная мощность передатчиков базовых станций, как правило, не превышает 100 Вт , коэффициент усиления антенны $10-16 \text{ дБ}$. Мощность передатчиков автомобильных станций $8-20 \text{ Вт}$, ручных радиотелефонов $0,8-5 \text{ Вт}$.

В соответствии с рабочим диапазоном частот ($400-1200 \text{ МГц}$) нормируемыми параметрами излучений систем сотовой

связи являются поверхностная плотность потока энергии (ППЭ) и энергетическая нагрузка (ЭН) на организм (табл. 5).

Таблица 5

Нормирование ЭМП

Категория облучения	Величина ВДУ
Профессиональное воздействие	
Предельно допустимое значение	$I_{ПД} = 2/t \text{ Вт/м}^2; I_{ПД\max} \leq 10 \text{ Вт/м}^2$
Непрофессиональное воздействие	
Облучение населения, проживающего вблизи от антенн базовых станций	$I_{ПД} \leq 0,1 \text{ Вт/м}^2$
Облучение пользователей радиотелефонов	$I_{ПД} \leq 1 \text{ Вт/м}^2$

Предельно допустимый уровень плотности потока энергии (ППЭ), создаваемый микроволновыми печами, не должен превышать $0,1 \text{ Вт/м}^2$ на расстоянии 50 ± 5 см от любой точки микроволновой печи.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21.06.2016 № 81 «Об утверждении СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» устанавливает предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия на людей электромагнитных излучений (ЭМИ РЧ) в диапазоне частот 30 кГц-300 ГГц основные санитарно-гигиенические требования к разработке, изготовлению, приобретению и использованию источников ЭМИ РЧ в процессе работы, обучения, быта и отдыха людей.

Оценка воздействия ЭМИ РЧ на людей осуществляется по следующим параметрам:

- по энергетической экспозиции, которая определяется интенсивностью ЭМИ РЧ и временем его воздействия на человека. Применяется для лиц, работа или обучение которых связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ РЧ.

- по значениям интенсивности ЭМИ РЧ. Оценка применяется для лиц, работа или обучение которых не связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ РЧ; для работающих или учащихся лиц, не достигших 18 лет; для женщин в состоянии беременности; для лиц, находящихся в жилых, общественных и служебных зданиях и помещениях,

подвергающихся воздействию внешнего ЭМИ РЧ (кроме зданий и помещений передающих радиотехнических объектов); для лиц, находящихся на территории жилой застройки и в местах массового отдыха.

В таблице 6 указаны максимальные значения нормируемых параметров для различных диапазонов ЭМП.

Таблица 6

Максимальные значения нормируемых параметров для различных диапазонов ЭМП

Нормируемый параметр	Диапазон радиочастот			
	ВЧ	УВЧ		СВЧ
		3 – 30 МГц	30 – 300 МГц	
$E, \text{В/м}$	500	300	80	-
$H, \text{А/м}$	50	-	-	-
$I, \text{Вт/м}^2$	-	-	-	10
$\text{Э}H_E, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$	20000	7000	800	-
$\text{Э}H_H (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$	200	-	-	-
$\text{Э}H_{\text{ППЭ}} (\text{Вт/м})^2 \cdot \text{час}$	-	-	-	2

Методы и средства защиты от ЭМП

Защита персонала от воздействия ЭМИ РЧ осуществляется путем проведения организационных и инженерно-технических мероприятий, а также использования средств индивидуальной защиты. К организационным мероприятиям относятся: выбор рациональных режимов работы оборудования; ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия ЭМИ РЧ (защита расстоянием и временем). Инженерно-технические мероприятия включают дистанционное управление устройствами, излучающими электромагнитные волны; рациональное размещение оборудования; использование средств, ограничивающих поступление электромагнитной энергии на рабочие места персонала (поглотители мощности, экранирование, использование минимальной необходимой мощности генератора); обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМИ РЧ. К средствам индивидуальной защиты относятся спецодежда, выполненная из металлизированной ткани, защитные очки, халаты, фартуки, накидки с капюшоном, перчатки, щитки.

Способ защиты в каждом конкретном случае должен определяться с учетом рабочего диапазона частот, характера выполняемых работ, необходимой эффективности защиты.

Экранирование источников ЭМИ РЧ или рабочих мест осуществляется с помощью отражающих или поглощающих экранов (стационарных или переносных). *Отражающие экраны* выполняются из металлических листов, сетки, металлизированной ткани. *В поглощающих экранах* используются специальные материалы, обеспечивающие поглощение излучения с соответствующей длиной волны. В зависимости от излучаемой мощности и взаимного расположения источника и рабочих мест конструктивное решение экрана может быть различным (замкнутая камера, щит, чехол, штора и т.д.).

Средства индивидуальной защиты следует использовать в случаях, когда снижение уровней ЭМИ РЧ с помощью мер общей защиты технически невозможно. Если защитная одежда изготовлена из материала, содержащего в своей структуре металлический провод, она может использоваться только в условиях, исключающих прикосновение к открытым токоведущим частям установок.

Ожидаемая эффективность экранирования может быть рассчитана по формуле:

$$\mathcal{E} = 36 + 20 \cdot \frac{\delta}{\rho} + 8,7 \cdot \frac{d}{\rho}, \text{ дБ} \quad (16)$$

где δ – глубина проникновения, м; d – толщина материала экрана, м; λ – длина волны ЭМП, м; ρ – удельное сопротивление материала экрана, Ом \times м; μ – магнитная проницаемость материала экрана, Гн/м; f – частота ЭМП, МГц.

Глубина проникновения электромагнитных волн рассчитывается по формуле:

$$\delta = 0,52 \cdot \left(\frac{\rho}{\mu \cdot f} \right)^{0,5} = 0,03 \cdot \left(\frac{\lambda \cdot \rho}{\mu} \right)^{0,5}, \text{ м} \quad (17)$$

Экспериментально эффективность экранирования определяют по формулам:

$$\eta = 10 \cdot \lg \left(\frac{I_1}{I_2} \right), \text{ дБ} \quad (18)$$

$$\eta = \frac{I_1 - I_2}{I_1} \cdot 100, \% \quad (19)$$

где I_1 и I_2 – интенсивность излучения без экрана и с экраном, Вт/м².

В таблице 1 приложения 2 приведены данные по удельному сопротивлению и магнитной проницаемости различных материалов, применяемых для изготовления защитных экранов.

Приборы и оборудование, используемые в работе

Лабораторная установка (рис. 3) представляет собой стол 1, на котором установлена микроволновая СВЧ-печь 2, координатное устройство 3 с датчиком и дипольной антенной 4 и микроамперметром 5. Последний служит для регистрации интенсивности СВЧ-излучения и соединен с датчиком координатного устройства, которое позволяет фиксировать наличие излучения в различных направлениях от источника. На столешнице имеются пазы 6 для установки сменных защитных экранов, изготовленных из различных материалов.

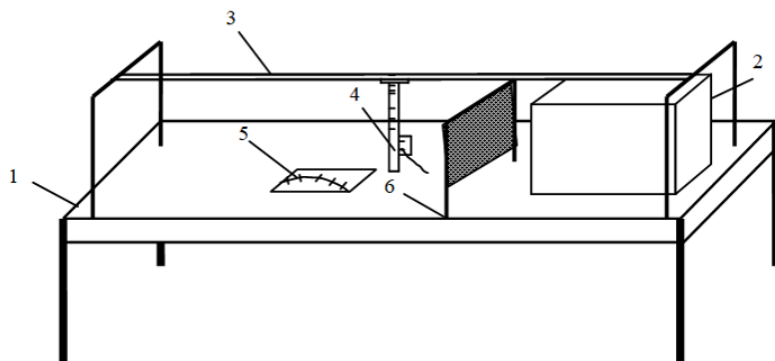


Рис.3. Схема лабораторной установки по оценке СВЧ-излучения

Источником электромагнитного поля является магнетрон, излучающий электромагнитные колебания частотой 2400 МГц и длиной волны $\lambda = 12,5 \text{ см} = 0,125 \text{ м}$. В работе изучаются

экранирующие свойства следующих материалов: латунной сетки с диаметром ячеек 2,5 мм; алюминиевого листа; органического стекла; армированной резины; резины.

Порядок выполнения работы

1. Оценить безопасность микроволновой печи.

1.1. Подключить микроволновую печь к электрической сети.

1.2. Открыть дверь печи, убедиться, что там стоит емкость, заполненная водой не менее чем наполовину объема. При необходимости набрать емкость водой, закрыть дверь печи. *Без установленной емкости с водой или открытой дверце включать печь запрещено!*

1.3. Включить микроволновую печь *не более чем на 10 минут* в режиме разогрева на максимальной мощности.

1.4. Разместить датчик в непосредственной близости от печи по оси X . Передвигая датчик с дипольной антенной по координатной сетке (по осям X и Y) каждый раз на 10 см, определить контуры зоны, в пределах которой плотность потока энергии превышает предельно допустимую величину $0,1 \text{ Вт/м}^2$ (50 мкА). Определить, на какой из 4-х линий, перпендикулярно направленным к печи, интенсивность излучения максимальная. Полученные значения интенсивности записать на подготовленном заранее эскизе возле замерных точек (рис. 4).

2. Исследовать эффективность экранирования источника СВЧ-излучения при использовании различных экранов.

2.1. Установить дипольную антенну на ближайшей точке линии с наибольшими значениями интенсивности излучения.

2.2. Определить экспериментально эффективность экранирования. Для этого, последовательно устанавливая экраны между микроволновой печью и антенной в ближайшей точке линии с наибольшими значениями интенсивности излучения, измерить плотность потока энергии с экранами I_2 .

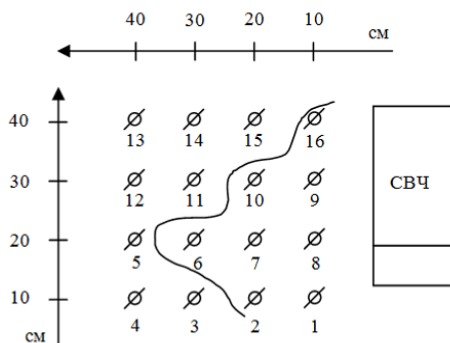


Рис.4. Схема расположения замерных точек

2.3. Записать измеренные значения интенсивности излучения в таблицу 7.

Порядок обработки и анализа данных

1. Рассчитать по формуле (20) коэффициент безопасности (КБ) и по его значению определить безопасность используемой микроволновой печи.

$$КБ = \frac{I_{ПД}}{I_{50}}, \quad (20)$$

где $I_{ПД}$ – предельно допустимая по нормам величина ППЭ, $I_{ПД}=0,1 \text{ Вт/м}^2$; I_{50} – измеренная интенсивность излучения на расстоянии 50 см от передней панели печи в точке максимального излучения, Вт/м^2 .

Если $КБ > 1$, то СВЧ-печь безопасна, $КБ < 1$ – работающая печь создает ЭМП, опасное для здоровья пользователя.

2. Построить график зависимости плотности потока энергии от расстояния.

3. По формулам (16) и (19) определить ожидаемую (расчетную) и экспериментальную эффективность экранирования (толщину сплошных экранов принять равной 0,0005 м, латунной сетки – 0,0003 м).

4. Результаты расчетов занести в таблицу 7.

5. Сделать выводы о зависимости интенсивности излучения от расстояния и эффективности экранирования от вида материалов защитных экранов.

Таблица 7

Результаты определения эффективности экранирования

Параметр	Экран				
	Алюминиевый	Латунная сетка	Резиновый	Армированнаяре зина	Оргстекло
Плотность потока энергии без экрана I_1 , мкА					
Плотность потока энергии без экрана I_2 , Вт/м ²					
Плотность потока энергии с экраном I_2 , мкА					
Плотность потока энергии с экраном I_2 , Вт/м ²					
Расчетная эффективность экрана, дБ					
Экспериментальная эффективность экрана, %					

Контрольные вопросы

1. Что собой представляет электромагнитное поле? Назовите основные его источники.
2. Как классифицируются нормируются ЭМП?
3. К каким изменениям в организме человека приводит воздействие электромагнитных полей с уровнем, превышающим допустимый?
4. Какие проводятся мероприятия и применяются защитные устройства от воздействия электромагнитных полей?
5. Как оценить безопасность бытовой микроволновой печи и эффективность экранирования?

Лабораторная работа № 3.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Цель работы – приобретение навыков измерения параметров теплового (инфракрасного) излучения (ИКИ), изучение методов защиты от него и их эффективности.

Теоретические сведения

Лучистый теплообмен представляет собой процесс преобразования внутренней энергии среды (тела) в энергию излучения электромагнитных волн, отличающихся длиной волны. Все электромагнитные излучения имеют одинаковую природу и отличаются длиной волны. Например, длина волн ультрафиолетового излучения 0,02-0,4 мкм, видимого излучения 0,4-0,76 мкм, инфракрасного – более 0,76 мкм. *Видимое и инфракрасное излучение называют тепловым, или лучистым.*

Теплота с температурой $T > 0^{\circ}\text{K}$ является источником электромагнитного излучения. Это излучение осуществляется за счет преобразования энергии теплового движения частиц тела в энергию излучения. Часть этого интегрального излучения с длиной волн $\lambda = 0,78-1000$ мкм при облучении любого тела вызывает тепловой эффект и носит название ИКИ. На долю ИКИ производственных помещений приходится до 70 % выделяемой теплоты.

При температурах до 500°C с нагретой поверхности излучаются инфракрасные лучи, а при более высокой температуре появляются видимые световые и ультрафиолетовые лучи. Распределение лучистой энергии по спектру вычисляется по закону Вина. Длина волны лучистого потока с максимальной энергией теплового излучения для абсолютно черного тела определяется по формуле:

$$\lambda_{\max} = \frac{C}{T}, \text{ мкм} \quad (21)$$

где T – температура, $^{\circ}\text{K}$; C – константа, $C=2880$ мкм $\cdot^{\circ}\text{K}$.

Воздух прозрачен (диатермичен) для теплового излучения, поэтому при прохождении лучистой теплоты его температура не повышается. ИКИ поглощается предметами, нагревая их. Последние, соприкасаясь с воздухом, нагревают его. ИКИ является одной из составляющих микроклимата рабочих зон производственных помещений.

Поверхностная плотность теплового потока (интенсивность излучения) рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{0,78 \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right]}{l^2}, \text{ Вт/м}^2 \quad (22)$$

где F – площадь излучающей поверхности, м²; T – температура излучающей поверхности, °К; l – расстояние от излучающей поверхности до объекта, м.

Из формулы следует, что количество лучистого тепла, поглощаемого телом человека, зависит от температуры источника излучения, площади излучающей поверхности и от квадрата расстояния между источником излучения и телом человека.

Источники лучистой энергии в зависимости от температуры поверхности можно разделить на четыре группы:

1. Источники с температурой поверхности до 500 °С. Это паропроводы, сушильные агрегаты, наружные поверхности печей. В спектре излучения этих источников содержатся в основном инфракрасные лучи с длиной волны 3,7-9,3 мкм.

2. Источники с температурой поверхности от 500 до 1300 °С. Это открытые проемы нагревательных печей, открытое пламя, нагретые слитки, заготовки, расплавленный чугун, бронза. В спектре излучения этих источников длины волн с максимальной энергией находится в пределах 1,9-3,7 мкм.

3. Источники с температурой поверхности от 1300 до 1800 °С. Это расплавленная сталь, открытые проемы плавильных печей. Спектр излучения содержит инфракрасные лучи с $\lambda_{max}=1,2-1,9$ мкм и видимые лучи.

4. Источники излучения с температурой поверхности свыше 1800 °С. Это дуговые печи, сварочные аппараты. Спектр излучения таких источников содержит все длины волн лучистой энергии.

Интегральная излучающая способность абсолютно черного тела определяется законом Стефана-Больцмана:

$$I = \sigma \cdot T^4 \quad (23)$$

где I – интенсивность излучения, Вт/м²; σ – универсальная постоянная Стефана-Больцмана ($\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8}$, °К⁻⁴).

С учетом степени черноты облучаемых поверхностей интенсивность теплового излучения определяется по формулам:

$$\text{при } L \leq S^{0,5} \quad I = 0,91 \cdot S \cdot \frac{0,01 \cdot T^4 - A}{L^2}, \text{ Вт/м}^2 \quad (24)$$

$$\text{при } L > S^{0,5} \quad I = 0,91 \cdot S^{0,5} \cdot \frac{0,01 \cdot T^4 - A}{L^2} \quad (25)$$

где L – расстояние от источника ИКИ, м; A – эмпирический коэффициент (для кожи человека и хлопчатобумажной ткани $A=85$, для сукна $A=110$); S – площадь излучающей поверхности, м².

Воздействие инфракрасного излучения на организм человека

Тепловой обмен организма человека с окружающей средой заключается во взаимосвязи образования тепла в результате жизнедеятельности организма и отдачи этого тепла во внешнюю среду. Теплообмен человека и окружающей среды осуществляется в основном путем излучения, конвекции и испарения.

Отдача теплоты излучением является наиболее мощным путем отдачи тепла и составляет в комфортных метеоусловиях в состоянии покоя 44-59 % общей теплоотдачи. Излучение тела человека находится в диапазоне волн длиной от 5 до 25 мкм с максимальной энергией, приходящейся на волны длиной 9,4 мкм.

Под влиянием теплового облучения в организме человека уменьшается насыщенность крови кислородом, повышается венозное давление, замедляется кровоток, наступает нарушение сердечно-сосудистой деятельности и деятельности центральной нервной системы. Помимо непосредственного воздействия на рабочих лучистый поток нагревает пол, стены, оборудование, что

приводит к повышению температуры воздуха в помещении и ухудшению условий труда. В приведенной ниже таблице представлена зависимость теплового ощущения от длительности его воздействия.

Таблица 8

Зависимость допустимого времени воздействия ИКИ на человека от его интенсивности

Интенсивность излучения, Вт/м ²	Характер воздействия	Допустимое время воздействия τ, с
230-350	Слабое	Неопределенно долго
350-1050	Умеренной	180-300
1050-2100	Среднее	40-60
2100-2800	Высокое	18-24
3500	Очень высокое	2-5

Таким образом, тепловое излучение интенсивностью до 350 Вт/м² не вызывает неприятного ощущения, а интенсивностью свыше 3500 Вт/м² уже через 2-5 с вызывает ощущение жжения и возможен тепловой удар.

Воздействие теплового потока на организм зависит также от спектральной характеристики излучения. По характеру воздействия на организм человека инфракрасные лучи подразделяются на *короткие лучи* с длиной волны $\lambda=0,78-1,5$ мкм (лучи Фохта) и *длинноволновые лучи* с $\lambda>1,5$ мкм.

Тепловые излучения коротковолнового диапазона наиболее активны, так как обладают наибольшей энергией фотонов, глубоко проникают в ткани и разогревают их, вызывая при этом быструю утомляемость, понижение внимания, усиленное потоотделение, а при длительном воздействии тепловой удар (обильное потоотделение, повышение температуры тела человека до 40-41 °С, головокружение, слабость). Длинноволновые инфракрасные лучи глубоко в ткани не проникают и поглощаются в основном кожным покровом, проникая на глубину до 0,1-0,2 мм. Такие лучи могут вызвать ожог кожи и глаз. Наиболее частым и тяжелым поражением глаз вследствие воздействия инфракрасных лучей является катаракта глаза. Возможно воздействие ИКИ и на верхние дыхательные пути, водно-энергетический баланс организма.

Гигиеническое нормирование теплового облучения

Нормирование излучения осуществляется по интенсивности допустимых суммарных потоков энергии с учетом длины волны, размера облучаемой поверхности, защитных свойств спецодежды и продолжительности воздействия в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН 2.2.4.548-96.2.2.4.

Так интенсивность теплового излучения от нагретых до темного свечения поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, материалов на рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м^2 при облучении 50 % поверхности тела и более, 70 Вт/м^2 при облучении от 25 до 50 % и 100 Вт/м^2 – при облучении не более 25 % поверхности тела. Интенсивность теплового облучения от открытых источников нагретых до белого и красного свечения (например, раскаленный или расплавленный металл, пламя), не должно превышать 140 Вт/м^2 , при этом воздействию не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты.

При наличии теплового излучения температура воздуха на рабочих местах не должна превышать $24\text{-}25^\circ\text{C}$ для легких *Ia* и *Iб* категорий работ соответственно (расход энергии человеком $W=175\text{-}232 \text{ Вт}$); 21 и 22°C для *IIa* и *IIб* работ средней категории тяжести ($W=233\text{-}290 \text{ Вт}$) соответственно и 20°C для тяжелых *III* категории работ ($W>290 \text{ Вт}$). Температура нагретых поверхностей оборудования в рабочей зоне не должна превышать 45°C , а для оборудования с температурой внутри ниже 100°C не должна быть более 35°C .

Методы и средства защиты от теплового излучения

Теплозащита на производстве достигается максимальной автоматизацией технологических процессов, оптимальным размещением оборудования и рабочих мест, применением средств коллективной и индивидуальной защиты.

Для защиты от лучистых тепловых воздействий применяются следующие коллективные теплозащитные средства: теплоизоляция поверхностей источников излучения, экранирование источников либо рабочих мест, воздушное душирование,

мелкодисперсное распыление воды, вентиляция и кондиционирование воздуха. В тех случаях, когда нормативные условия труда не могут быть обеспечены конструкцией оборудования, организацией производства, архитектурно-планировочными решениями и средствами коллективной защиты, применяют средства индивидуальной защиты согласно ГОСТ Р 12.4.297-2013.

Выбор теплозащитных средств должен осуществляться по максимальным значениям их эффективности с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса и вида работ и технико-экономического обоснования. Установленное на производстве защитное устройство должно быть удобным для обслуживания, гарантировать безопасность работы, обладать необходимой прочностью, легкостью изготовления и монтажа, иметь минимальные эксплуатационные расходы.

Эффективность защиты от теплового излучения оценивается по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100, \% \quad (26)$$

где Q_1 и Q_2 – интенсивность теплового излучения без применения средств защиты и при наличии средств защиты, Вт/м².

Теплоизоляция горячих поверхностей (печей, сосудов и трубопроводов с горячими газами и жидкостями) не только снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает общее тепловыделение, но уменьшает тепловые потери оборудования.

Основное требование при выборе теплоизоляционного материала – это малый коэффициент теплопроводности ($\lambda \leq 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) и температуростойкость. Наиболее широкое применение нашли алюминиевая фольга, асбест, минеральная вата и шлаковата, войлок.

Конструктивно теплоизоляция может быть мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий и смешанная.

Мастичная изоляция осуществляется путем нанесения на горячую поверхность изолируемого объекта изоляционной мастики.

Мастичную изоляцию можно применять на объектах любой конфигурации.

Оберточная изоляция изготавливается из волокнистых материалов, например, асбестовой ткани, минеральной ваты, войлока. Она наиболее пригодна для трубопроводов.

Засыпная изоляция применяется в основном при прокладке трубопроводов в каналах и коробах там, где требуется большая толщина изоляционного слоя.

Теплоизоляцию штучными или формованными изделиями, скорлупами применяют для облегчения работ.

Смешанная теплоизоляция состоит из нескольких слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Наружный слой изготавливают из мастичной или оберточной изоляции.

Теплозащитные экраны применяют для локализации источников лучистой теплоты и снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место. Различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны, разделяемые по степени прозрачности на непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные.

Теплоотражающие экраны используют для локализации тепловыделений от поверхностей печей, покрытия наружных поверхностей кабин, постов управления кранов. В качестве материалов для непрозрачных теплоотражающих экранов используют асфоль (алюминевую фольгу), алюминий листовой, алюминиевую краску, оцинкованную сталь. Эффективность теплозащиты достигает 80-98 %.

Теплоотводящие экраны представляют собой полые металлические плиты, в которых циркулирует вода или водовоздушная смесь. В качестве полупрозрачных теплоотводящих экранов (для наблюдения или ввода через него материалов или инструмента) используют металлические сетки с размером ячейки 3-3,5 мм, цепные завесы, армированное металлической сеткой стекло. Металлические сетки применяют при интенсивности излучения 350-1050 Вт/м². Эффективность экранов из однослойной сетки – 33-50 %, двухслойной 57-74 %. Цепные завесы и армированное металлической сеткой стекло с эффективностью до 70 % применяют

при интенсивности облучения $700-5000 \text{ Вт/м}^2$. Для повышения эффективности тепловой защиты устанавливают двойные экраны.

Прозрачные теплопоглощающие экраны изготавливаются из различных бесцветных или окрашенных стекол, например, силикатного – для защиты от источников с температурой до $700 \text{ }^\circ\text{C}$; органического – для защиты от источников с температурой до $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Эффективность теплозащиты стекол зависит от температуры источника излучения, так при $T=1000 \text{ }^\circ\text{C}$ она достигает 86 %. В качестве теплопоглощающих непрозрачных материалов применяют огнеупорный и теплоизоляционный кирпич, асбест, шлаковату.

При воздействии на работника теплового облучения интенсивностью $350-2100 \text{ Вт/м}^2$ применяют *воздушное душирование* (подача приточного воздуха в виде воздушной струи, направленной на рабочее место), усиливающее конвективный отток теплоты. В зависимости от категории тяжести работ, интенсивности ИКИ скорость движения воздуха в струе колеблется от 1,0 до 3,5 м/с, температура воздуха в струе $17-28 \text{ }^\circ\text{C}$. При интенсивности излучения на рабочем месте свыше 2100 Вт/м^2 предусматривается экранирование источника или работника, организация воздушных оазисов или помещений с пониженной температурой для отдыха работников и предотвращения их перегрева.

Воздушные оазисы представляют собой рабочую зону, ограниченную легкими переносными перегородками, со скоростью воздуха в этой зоне $0,2-0,4 \text{ м/с}$.

Воздушные завесы используют для предотвращения поступления нагретого воздуха на постоянные рабочие места, расположенные вблизи ворот, дверей, технологических проемов. Существуют различные типы завес: шибберного и смешанного типа, постоянно и периодически действующие. Воздушная струя завесы направляется, как правило, под углом 30° к плоскости проема, то есть навстречу к нагретому потоку. Скорость выпуска воздуха из щелей воздушной завесы $8-15 \text{ м/с}$.

Приборы и оборудование, используемые в работе

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рисунке 5. Стенд представляет собой лабораторный стол 1, выполненный в виде металлического сварного каркаса, на котором установлена столешница 2 и устройство 3 для создания водяной завесы, а под столешницей – замкнутая гидросистема 4 и ящик 5 для хранения комплекта сменных элементов. Ящик и гидросистема закрыты стенками и дверцами. Стенки и дверцы закрепляются на металлическом каркасе стенда.

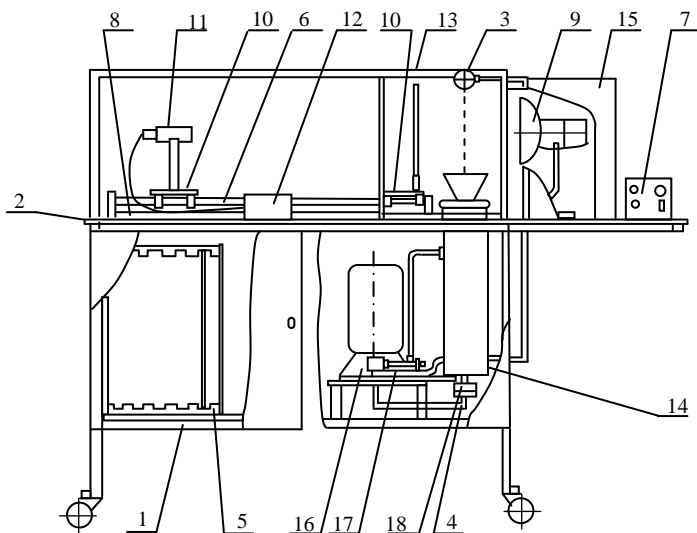


Рис. 5. Лабораторный стенд по исследованию инфракрасного излучения

На столешнице 2 закреплены направляющие 6 линейного перемещения, пульт управления 7, линейка 8 и установлен имитатор 9 источника теплового излучения. На направляющих 6 установлены две каретки 10. На одной из кареток закреплен датчик 11 измерителя теплового излучения 12 (радиометр неселективный «АРГУС-03»), на другой устанавливаются сменные экраны 13. Устройство 3 для создания водяной завесы представляет собой металлическую трубу с заглушкой на одном конце и системой отверстий, просверленных по прямой линии вдоль трубы, для выпуска воды. Непосредственно под

устройством 3 расположен бак 14 для приема воды. Имитатор 9 источника теплового излучения имеет защитный кожух 15. Замкнутая гидросистема 4, питающая устройство 3 состоит из водяного насоса 16, предохранительного клапана 17, бака 14 для приема воды, сетчатого фильтра 18. Все элементы гидросистемы соединяются между собой и устройством для создания водяной завесы гибкими шлангами. Бак 14 имеет штуцер для слива воды. Клапан 17 предназначен для регулирования напора воды в устройстве 3 для создания водяной завесы. Ящик 5 имеет направляющие для установки сменных экранов.

Принцип работы неселективного радиометра «АРГУС-03» (рис.б) основан на преобразовании потока излучения, создаваемого источниками, в непрерывный электрический сигнал, пропорциональный энергетической освещенности, который затем преобразуется аналого-цифровым преобразователем в цифровой код, показываемый на цифровом табло индикаторного блока.



Рис.6. Радиометр «АРГУС-03»

В измерительной головке установлен первичный преобразователь излучения – термоэлемент для измерения энергетической освещенности. На передней панели индикаторного блока размещен переключатель пределов измерений и гнезда для сигнала с выхода головки. Показания прибора в «Вт/м²».

Порядок выполнения работы

1. Подключить стенд к сети переменного тока. *Подключение приборов и работа на стенде проводятся сухими руками! Запрещается прикасаться к нагревательному элементу!*

2. Для установления постоянного теплового излучения источник должен прогреться в течение 10 минут.

3. Исследовать изменение интенсивности излучения в зависимости от расстояния до источника.

3.1. Установить головку измерителя теплового потока в штативе.

3.2. Измерить интенсивность теплового потока (I) в 6 точках на различном удалении от источника (L), перемещая вдоль линейки штатив с измерительной головкой прибора на 10 см каждый раз.

3.3 Результаты замеров занести в таблицу 9.

4. Оценить эффективность экранирования источника теплового излучения при использовании экранов различных типов, изготовленных из различных материалов.

4.1. Установить между источником и измерительным элементом в каретке защитный экран.

4.2. Прогреть экран в течение 2-3 мин.

4.3. Измерить интенсивность излучения на различном расстоянии от источника ИКИ.

4.4. Надеть перчатку (рукавицу), вынуть экран из каретки и отложить в сторону.

4.5. Взять другой экран и повторить действия, описанные в п. 4.1-4.4. Провести замеры интенсивности ИКИ при использовании всех остальных экранов, прилагаемых к стенду.

4.6. Результаты замеров занести в таблицу 9.

5. Оценить эффективность экранирования источника теплового излучения при использовании комбинированного экрана.

5.1. Установить между источником и измерительным элементом в каретке два защитных экрана различного типа либо один из ранее используемых экранов и включить водяную завесу. Тип комбинированного экрана узнать у преподавателя.

5.2. Прогреть комбинированный экран, состоящий из нескольких ранее использованных экранов, в течение 2-3 мин.

5.3. Измерить интенсивность излучения на различном расстоянии от источника ИКИ.

5.4. Надеть перчатку (рукавицу), вынуть экраны из каретки и отложить в сторону. Результаты замеров занести в таблицу 9.

6. Отключить стенд от электрической сети.

7. Экраны после полного их остывания разместить под столешницей.

Порядок обработки и анализа данных

1. Определить нормативное значение интенсивности теплового излучения для лабораторных условий. Принять место возле лабораторного стенда за рабочее место и считать, что работник использует СИЗ, воздействию ИКИ подвергается не более 25 % поверхности тела.

2. Построить график зависимости интенсивности теплового излучения (без применения защитных экранов) от расстояния $I_1=f(L)$. Сравнить измеренные значения интенсивности ИКИ с нормативным значением.

3. Построить графики зависимости интенсивности теплового излучения (с применением защитных экранов) от расстояния $I_2=f(L)$. Сравнить измеренные значения интенсивности ИКИ с нормативным значением.

4. Построить график зависимости $I_2=f(L)$ для комбинированного экрана.

5. Рассчитать эффективность защитного действия экранов. Записать в таблицу 9.

6. Сравнить полученные значения эффективности действия различных экранов и объяснить различия.

Таблица 9

Результаты измерений интенсивности теплового излучения

№ п/п	Вид защитного экрана	Интенсивность ИКИ I (Вт/м ²) на расстоянии L (см) от источника						Эффективность экранирования
		30	40	50	60	70	80	
1	Без экрана							
2	Цепной							
3	Алюминиевый							
4	Стальной							
5	Асбестовый							
6	Тканевый							
7	Комбинированный							

Контрольные вопросы

1. В чем отличие ИКИ от других видов излучения?
2. От каких параметров зависит поверхностная плотность теплового потока?
3. Какими способами осуществляется теплообмен человека с окружающей средой?
4. Как зависит воздействие теплового потока на организм человека от спектральной характеристики излучения?
5. Какие существуют способы борьбы с тепловым облучением человеческого организма и от чего зависит эффективность их применения?

Лабораторная работа № 4.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Цель работы – изучение нормируемых качественных и количественных характеристик освещения, оценка степени влияния отделки интерьера на коэффициент использования (КПД) осветительной установки и демонстрация преимуществ и недостатков, применяемых в настоящее время источников света.

Теоретические сведения

Рациональное освещение производственных помещений и рабочих мест – одно из важнейших условий создания благоприятных и безопасных условий труда.

Из общего объема информации через зрительный аппарат человек воспринимает около 80 %. Качество получаемой информации во многом зависит от освещения. Недостаточное или некачественное освещение утомляет не только зрение, но и организм в целом. Нерационально организованное освещение может стать причиной травматизма из-за возникновения плохо освещенных опасных зон, слепящего действия источников света и бликов от них, появления резких теней, ухудшающих видимость и вызывающих полную потерю ориентации работников

В зависимости от источников света производственное освещение может быть трех видов: естественное, искусственное и совмещенное (при сочетании естественного и искусственного).

Для гигиенической оценки освещения и эффективности использования источников света используются следующие физические светотехнические характеристики:

- *Видимое излучение*, вызывающее зрительное ощущение, характеризуется участком спектра электромагнитных колебаний в диапазоне длин волн от 380 до 770 нм.
- *Световой поток (F)* – мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению. За единицу светового потока принят люмен (лм).

- *Телесный угол* (ω) – пространственный угол (рис. 7), образованный в центре сферы вершиной конуса, основание которого находится на поверхности сферы:

$$\omega = \frac{S}{R^2}, \text{ ср} \quad (27)$$

где: ω – телесный угол, измеряемый в стерadians (ср); R – расстояние от источника до освещенной поверхности, м; S – площадь освещенной поверхности, м².

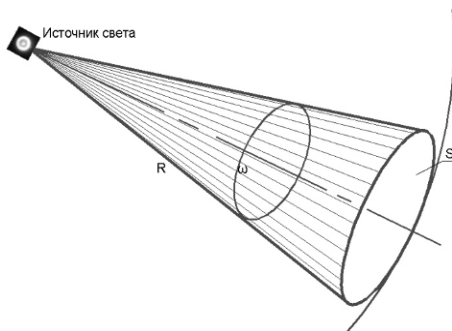


Рис.7. Телесный угол

- *Сила света* (I_a)– пространственная плотность светового потока, характеризующая свечение источника излучения:

$$I_a = \frac{dF}{d\omega}, \text{ кд} \quad (28)$$

где I_a – сила света в пределах телесного угла ω , измеряемая в канделах (кд); dF – световой поток, распределяющийся в пределах телесного угла, лм; $d\omega$ – единичный телесный угол, ср.

- *Освещенность* (E)– поверхностная плотность светового потока, измеряемая в люксах (лк):

$$E = \frac{dF}{dS}, \text{ лк} \quad (29)$$

где dS – площадь поверхности, на которую падает световой поток dF , м².

Яркость (B) – поверхностная плотность силы света в данном направлении. Единицей измерения яркости является кандела на квадратный метр (кд/м²), это яркость светящейся плоской поверхности площадью 1 м² в перпендикулярном к ней направлении при силе света в 1 кд.

Коэффициент пульсации светового потока – это параметр, характеризующий глубину пульсации светового потока, обусловленной переменным напряжением в электрической сети:

$$\text{КП} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2 \cdot E_{\text{cp}}} \cdot 100, \% \quad (30)$$

где E_{\max} , E_{\min} , E_{cp} – максимальная, минимальная и средняя освещенность, создаваемая лампой за период колебаний.

Светоотдача (CO) – отношение светового потока, создаваемого источником света, к мощности, потребляемой этим источником:

$$\text{CO} = \frac{\pi r^2 E}{P}, \text{ лм/Вт} \quad (31)$$

где r – расстояние от источника до точки измерения освещенности, м; E – освещенность, лк; P – потребляемая мощность источника, Вт.

Коэффициент использования осветительной установки (η) – это отношение фактического светового потока F_{ϕ} к суммарному световому потоку $F_{\text{л}}$ используемых источников света:

$$\eta = \frac{F_{\phi}}{F_{\text{л}}}, \quad (32)$$

где F_{ϕ} – световой поток, обеспечивающий горизонтальную освещенность на площади помещения, лм; $F_{\text{л}}$ – суммарный стандартный световой поток примененных ламп, лм.

Фактический световой поток F_{ϕ} определяется как произведение средней освещенности E_{cp} в лк на площадь помещения S_n в м²:

$$F_{\phi} = E_{\text{cp}} \cdot S_n \quad (33)$$

Источники искусственного освещения устанавливаются в помещениях с недостаточным естественным светом, а также для освещения помещения в часы суток, когда естественная освещенность ослабевает или отсутствует. По принципу организации искусственного освещения различают общее и комбинированное.

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

Местное освещение является направленным и создает необходимую освещенность рабочих поверхностей, не охватывая прилегающих к ним площадей. Оно может быть стационарным и переносным. Применение только местного освещения в производственных помещениях запрещается.

Комбинированное освещение – сочетание общего и местного, используется при работах высокой точности, а также при необходимости создания определенного или изменяемого в процессе работы направления света.

По функциональному назначению искусственное освещение классифицируют на рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное.

Рабочее освещение предусматривается для всех помещений производственных зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение подразделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности – освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Освещение безопасности предусматривается в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может привести к взрыву, пожару, отравлению людей, длительному нарушению технологического процесса, нарушению работы объектов жизнеобеспечения (электрические станции, насосные установки водоснабжения,

теплофикации), в которых недопустимо прекращение работ. Наименьшая освещенность, создаваемая освещением безопасности, должна составлять не менее 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий. При этом полное включение аварийных светильников должно происходить в течение не более 0,5 секунд после выключения осветительных приборов рабочего освещения.

Эвакуационное освещение должно быть обеспечено для мест, отведенных для прохода людей, а также проходов и лестниц, предназначенных для эвакуации персонала, при числе эвакуируемых более 50 человек. Освещенность земли или пола основных проходов и ступеней лестниц в помещениях 0,5 лк, а на открытых территориях 0,2 лк.

Эвакуационное освещение – освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения. Предусматривается в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 человек; по основным проходам производственных помещений, в которых работает более 50 человек; в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования; в помещениях зданий промышленных предприятий, если в помещении могут одновременно находиться более 100 человек. Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов и на ступенях лестниц: в помещениях – 0,5 лк, на открытых территориях – 0,2 лк.

Дежурное освещение – освещение в нерабочее время.

Охранное освещение размещается вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли.

В качестве источников искусственного освещения применяются лампы накаливания, люминесцентные, галогенные,

металлогалогенные, светодиодные, энергосберегающие, газоразрядные, дуговые ртутные лампы и другие.

Лампа накаливания (рис. 8а) – это электрический источник света, который излучает световой поток в результате накала проводника из тугоплавкого металла (вольфрама).

Эти лампы отличаются низкой стоимостью, мгновенно зажигаются при включении, имеют малые габаритные размеры и широкий диапазон мощностей. Недостатками являются большая яркость, небольшой срок службы – до 1000 часов, низкий КПД (только 1/10 потребляемой лампой электрической энергии преобразуется в видимый световой поток), остальная энергия преобразуется в тепловую.

Люминесцентные лампы (рис. 8б), называемые еще, лампами дневного света, представляют собой запаянные с обоих концов стеклянные трубки, изнутри покрытые слоем люминофора.

Отличаются хорошей светоотдачей и более высоким КПД (в сравнении с лампами накаливания), разнообразием оттенков света, длительным сроком службы (2000-20000 часов). Основными недостатками являются химическая опасность (ЛЛ содержат ртуть в количестве от 10 мг до 1 г), неравномерный, неприятный для глаз свет, иногда вызывающий искажения цвета освещенных предметов, наличие дополнительного приспособления для пуска лампы – громоздкого дросселя с ненадёжным стартером.

Галогеновые лампы (рис. 8в) – это лампы накаливания, в колбы которых закачаны пары галогенов (брома или йода), позволяющие повысить температуру спирали и срок службы лампы до 2000-4000 часов.

Данные лампы позволяют лучше управлять световым пучком и направлять его с большей точностью, компактны. Однако, сильно греются и перегорают при прикосновении пальцами.

В светодиодных лампах (LED, Light Emitting Diode) в качестве источника света используются светодиоды (рис. 8г).

Имеют самый большой срок службы среди всех ламп (от 10000 до 100000 часов), низкое энергопотребление, устойчивы к вибрации и механическим ударам, безотказны при температурах от -60 до +60°С. Главный недостаток – высокая цена.

Металлогалогенные лампы (МГЛ / НМЛ) являются одним из видов газоразрядных ламп (ГРЛ) высокого давления (рис. 8д). От других ГРЛ отличаются тем, что для коррекции спектральной характеристики дугового разряда в парах ртути, в горелку МГЛ дозируются специальные излучающие добавки, представляющие собой галогениды некоторых металлов. Светоотдача у этих ламп в 10 раз больше, чем у ламп накаливания, они компактны, надежны при низких температурах и различных условиях эксплуатации. Однако, время разгорания 30-50 секунд, после отключения не включаются, пока не остынут, имеют высокую стоимость.

Дуговые ртутно-люминесцентные лампы (ДРЛ) имеют высокую световую отдачу (до 60 лм/Вт) и относятся к ртутным разрядным лампам высокого давления с исправленной цветностью (рис. 8е). ДРЛ состоит из кварцевой трубки, находящейся в стеклянной колбе, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. К недостаткам этих ламп следует отнести преобладание в спектре лучей сине-зеленой части, ведущее к плохой цветопередаче, необходимость включения через балластный дроссель, длительность разгорания при включении (около 7 минут) и долгое начало повторного зажигания (около 10 минут), высокую пульсацию светового потока, уменьшение светового потока к концу службы.

Энергосберегающие лампы (рис. 8ж) работают по тому же принципу, что и обычные люминесцентные лампы, имеют компактные размеры. Экономичны, имеют долгий срок службы, низкую теплоотдачу, большую светоотдачу. Но имеют высокую цену и требуют утилизации т.к. экологически вредные.

Газоразрядная лампа (рис. 8з) – это источник света, излучающий энергию в видимом диапазоне. Свечение в лампе создается от электрического разряда в газе, парах металла или в смеси пара и газа. Достоинствами являются высокий КПД, длительный срок службы по сравнению с лампами накаливания. К недостаткам относятся высокая стоимость, необходимость пускорегулирующей аппаратуры, долгий выход на рабочий режим, наличие токсичных компонентов и как следствие необходимость в инфраструктуре по сбору и утилизации, невозможность

изготовления ламп на любое напряжение, наличие мерцания и гудения при работе на переменном токе промышленной частоты, прерывистый спектр излучения.

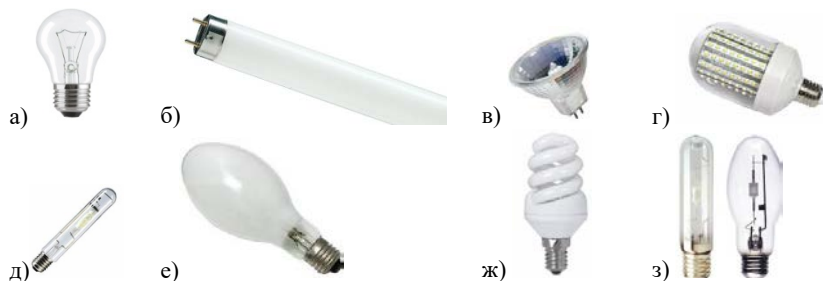


Рис. 8. Виды ламп:

- а) накаливания; б) люминесцентная; в) галогеновая; г) светодиодная; д) металлогалогенная; е) дуговая ртутно-люминесцентная; ж) энергосберегающая; з) газоразрядная

Влияние условий освещения на здоровье человека

Сохранность зрения человека, состояние его центральной нервной системы, производительность, качество труда и безопасность в производственных условиях в значительной мере зависят от условий освещения.

Свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Освещение выполняет полезную общефизиологическую функцию, способствующую появлению благоприятного психического состояния людей. С улучшением освещения повышается работоспособность, качество работы, снижается утомляемость, вероятность ошибочных действий, травматизма, аварийности. Недостаточное освещение ведет к перенапряжению глаз, к общему утомлению человека. Отрицательное воздействие на организм человека может быть обусловлено усталостью центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания

недостаточно четких знаков, мышечной усталостью из-за попыток сохранять неудобное положение, чтобы сократить расстояние до рабочего объекта, желанием не отвлекаться от выполняемого задания и не обращать внимания на возможные блики, например на мониторе. В результате снижается внимание, ухудшается координация движений, что может привести при физической работе к несчастному случаю.

Из-за недостаточного освещения возникает до 5 % травм. Плохое освещение является вредным и опасным фактором. Кроме того, работа при низкой освещенности способствует развитию близорукости и других заболеваний. Повышенная освещенность тоже неблагоприятно влияет на общее самочувствие и зрение, вызывая слепящий эффект. Пульсация светового потока может привести к стробоскопическому эффекту, когда при пульсирующем освещении вращающихся объектов возникает иллюзия их вращения в противоположную сторону или полной остановки. Данный эффект на практике, провоцируя ошибочные действия операторов, приводит к авариям и травмам.

Гигиеническое нормирование освещения

Основным нормируемым параметром искусственного освещения является минимальная освещенность рабочей поверхности. Значение устанавливается в зависимости от характера зрительной работы и регламентируется СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение» и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. 2.2.1/2.1.1. «Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных пунктов. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

Характер зрительной работы определяется минимальным размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

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

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается светлым

при коэффициенте отражения поверхности $\rho_{\phi} > 0,4$; средним при $\rho_{\phi} = 0,2-0,4$; темным при $\rho_{\phi} < 0,2$. Коэффициент отражения характеризует долю отраженного света от поверхностей различных цветов.

Контраст объекта различения с фоном (K) – это отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта B_o и яркостью фона B_{ϕ} к яркости фона, в котором яркость можно заменить на соответствующие коэффициенты отражения:

$$K = \left| \frac{B_o - B_{\phi}}{B_{\phi}} \right| = \left| \frac{\rho_o - \rho_{\phi}}{\rho_{\phi}} \right|, \quad (34)$$

где ρ_o и ρ_{ϕ} – коэффициенты отражения объекта и фона соответственно.

Контраст объекта с фоном считается большим при $K > 0,5$; средним при $K = 0,2 \div 0,5$; малым при $K < 0,2$.

Коэффициенты отражения некоторых поверхностей и цветов представлены в таблице 1 приложения 3.

В соответствии со СНиП 23-05-95 все зрительные работы делятся на восемь разрядов в зависимости от размера объекта различения и условий зрительной работы. Допустимые значения наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях приведены в таблице 2 приложения 3.

На освещенность рабочих мест в производственном помещении влияют такие факторы, как отражение и поглощение света стенами, потолком и другими плоскостями, расстояние от светильников до рабочей поверхности, чистота и качество поверхности источника света, наличие рассеивателя и т.д. Поэтому практически используется только часть излучаемого источником светового потока.

Нормируемым параметром при естественном освещении является коэффициент Z естественной освещенности (КЕО), численно равный отношению естественной освещенности в некоторой точке рабочей поверхности внутри помещения E_v к

значению наружной горизонтальной освещенности E_H полностью открытого небосвода:

$$Z = \frac{E_B}{E_H} \cdot 100, \% \quad (35)$$

Значения КЕО в зависимости от характера зрительной работы и прочих условий приведены в таблице 3 приложения 3.

Методы и средства улучшения параметров световой среды

Основные мероприятия по улучшению параметров световой среды в помещениях заключаются в рациональном размещении светильников, правильном выборе их типа и высоты подвеса, корректном выборе типа ламп и их мощности, учете отражения и поглощения света при окраске стен помещения. Для обеспечения соответствия параметров освещения регламентируемым нормам, а также для оценки средней освещенности при проектировании освещения проводятся расчеты с применением точечного метода и метода коэффициента использования светового потока. Сглаживание пульсации достигается применением нескольких рядом работающих ламп со сдвигом фаз питающего напряжения или существенным повышением частоты переменного тока ($f > 1000 \text{ Гц}$).

Приборы и оборудование, используемые в работе

Лабораторная установка (рис. 9) выполнена в виде макета помещения с прозрачной стационарной передней и съемными боковыми и задней стенками на магнитных креплениях.

Съемные стены с одной стороны окрашены в светлые тона, с другой – в темные, что позволяет моделировать два типа помещений.

В верхней части передней стенки располагаются органы управления вентилятором, расположенным внутри модели помещения, и выключатели ламп. Вентилятор с регулируемой частотой вращения крыльчатки служит для демонстрации стробоскопического эффекта и регулирования температуры внутри установки.

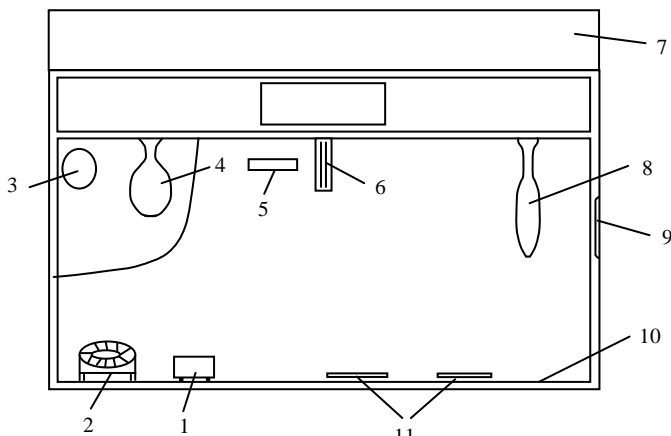


Рис.9. Макет производственного помещения

- 1 – вольтметр; 2 – вентилятор; 3 – ручка для съема стенок; 4 – лампа накаливания;
 5 – люминесцентная лампа; 6 – проемы каркаса для установки стенок; 7 –
 двухскатная крыша; 8 – дуговая ртутная лампа; 9 – боковые стены; 10 – пол;
 11 – печатные платы

В верхней части макета производственного помещения по потолку размещены шесть стандартных патронов, в которые установлены две лампы накаливания, три дуговые ртутные лампы (ДРЛ) и люминесцентная лампа. Их характеристики приведены ниже:

- лампа накаливания прозрачная грибовидной формы мощностью 40 Вт со световым потоком $F_d=415$ лм;
- лампа накаливания синяя грибовидной формы мощностью 40 Вт со световым потоком $F_d=200$ лм;
- люминесцентная энергосберегающая лампа в виде спирали мощностью 11 Вт и световым потоком $F_d=900$ лм;
- три дуговые лампы (ДРЛ-80), включенные в разные фазы трехфазной сети, мощностью 80 Вт и световым потоком $F_d=3400$ лм.

Вместо указанных видов ламп допускается при проведении лабораторной работы по разрешению преподавателя использовать другие виды ламп с известными характеристиками и

соответствующими по мощности и конструктивным особенностям свойствам стенда.

На панели управления лабораторной установки расположены тумблер включения питания «Сеть» с сигнальной лампой, тумблер включения вентилятора «Вентилятор», частота вращения которого регулируется ручкой «Частота», тумблер «Вольтметр» для включения вольтметра, тумблеры для включения ламп.

На передней стенке расположены два прямоугольных отверстия, в которые вводится чувствительный элемент люксметра. В работе используется люксметр-яркомер «ТКА-ПКМ-02» (рис.10).

Принцип действия прибора – оптический. Позволяет измерять освещенность в диапазоне от 10 до 200 000 лк, яркость – в диапазоне от 10 до 200 000 кд/м².



Рис.10. Люксметр-яркомер «ТКА-ПКМ 02»

Относительная погрешность измерений – не более 8-10 %. Возможно в работе применение и других аналогичных автоматических приборов, позволяющих измерять освещенность.

Порядок выполнения работы

1. Включить установку в сеть и повернуть тумблер включения питания «Сеть» в верхнее положение. Сигнальная лампа загорится зеленым цветом.
2. Проверить, чтобы фон всех стенок внутри макета был одинаковым – светлым либо темным.
3. Включить одну из ламп.

4. Измерить с помощью люксметра освещенность в трех точках на уровне пола модели помещения по центральной линии помещения вдоль длиной стороны. Полученные результаты записать в таблицу 10.

5. Измерить освещенность непосредственно под лампой на уровне пола модели помещения и записать в таблицу 11.

6. Измерить освещенность в пяти точках производственного помещения: в центре и по углам. Результаты записать в таблицу 12.

7. Выключить лампу, при работе которой проводились измерения освещенности, и включить следующую.

8. Повторить действия, описанные в п. 4-7, для еще 3-х различных ламп, при этом *последней должна быть лампа ДРЛ!*

9. *Не выключая лампу ДРЛ* перевернуть стенки макета обратной стороной, чтобы фон внутри установки был одинаковым.

10. В обратном порядке провести измерения освещенности согласно п. 3-7 для 4-х видов ламп.

Порядок обработки и анализа данных

1. Оценить характеристику фона и определить по формуле (34) контраст объекта с фоном.

2. Определить разряд и подразряд зрительных работ, при этом величину наименьшего объекта различения узнать у преподавателя.

3. По таблице 2 приложения 3 определить нормируемое значение освещенности и сравнить с ним фактические значения измеренной освещенности.

4. Записать определенные и полученные у преподавателя значения параметров в таблицу 10.

5. Оценить энергетическую эффективность различных источников света, определив для каждой лампы величину удельной освещенности по формуле:

$$E_{уд} = \frac{E_{факт}}{W_{л}}, \text{ лк/Вт} \quad (36)$$

где $E_{уд}$ – удельная освещенность, лк/Вт; $E_{факт}$ – фактическая освещенность, лк; $W_{л}$ – мощность лампы, Вт.

Результаты занести в таблицу 11.

6. Используя формулы 32 и 33, учитывая, что площадь пола в модели помещения $S_n=0,42 \text{ м}^2$, рассчитать коэффициент использования осветительной установки при использовании различных ламп. Записать их в таблицу 12 и сравнить между собой.

Таблица 10

Нормирование количественного параметра освещения

Тип лампы	Цвет стенок	Характеристика зрительной работы	Размер объекта, мм	Разряд и подразряд зрительной работы	Контраст объекта, мм	Характеристика фона	Норма общей освещенности, лк	Измеренная освещенность для лампы, лк		
	Темный									
	Светлый									

Таблица 11

Оценка энергетической эффективности источников света

Тип лампы	Накаливания		Люминесцентная	Дуговая
	прозрачная	синяя		
Светлый фон стенок				
Освещенность, лк				
Удельная освещенность, лк/Вт				
Темный фон стенок				
Освещенность, лк				
Удельная освещенность, лк/Вт				

Оценка коэффициента использования осветительной установки

Тип лампы	Окраска стен	Освещенность, лк					Среднее значение	Коэффициент использования осветительной установки
		Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5		
	Темный							
	Светлый							

Контрольные вопросы

1. Назовите основные физические светотехнические характеристики, применяемые для гигиенической оценки освещения и эффективности использования источников света.
2. Как классифицируется освещение?
3. Какие виды ламп знаете? Объясните их устройство, назовите достоинства и недостатки.
4. Как нормируется искусственное освещение?
5. Как нормируется естественное освещение?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Андреев Р.Е.* Безопасность жизнедеятельности. Основы безопасности жизнедеятельности в организациях минерально-сырьевого комплекса: учебник / Р.Е. Андреев [и др.]. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». 2015. 347 с.

2. *Глебова Е.В.* Производственная санитария и гигиена труда: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2015. 383 с.

3. ГОСТ Р 12.4.297-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. «Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты, выплесков расплавленного металла, контакта с нагретыми поверхностями, кратковременного воздействия пламени. Технические требования и методы испытаний». Введ. 2014-12-01. М.: Стандартинформ. 2014. 16 с.

4. ГОСТ 26824-2010. Межгосударственный стандарт. «Здания и сооружения. Методы измерения яркости». Введ. 2012-01-01. М.: Стандартинформ. 2012. 24 с.

5. ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Введ. 1988-29-09. М.: Стандартинформ. 1988. 50 с.

6. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. 2.2.1/2.1.1. «Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных пунктов. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». Ввод. 2003-06-15. М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. 2003. 42 с.

8. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». Введ. 2017-01-01. 2017. 69 с.

9. СанПиН 2.2.4.548-96.2.2.4. «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы». Введ. 1996-10-01. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России. 2001. 40 с.

10. СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение». Введ. 2017-05-08. М.: Минстрой России. 2018. 106 с.

Приложение 1

Таблица 1

Значения коэффициента качества излучения (К) для разных типов излучения

Тип излучения	К
рентгеновское, β -, γ -излучения	1
нейтронное излучение ($E < 20$ КэВ)	3
нейтронное излучение ($E = 0,1 - 10$ МэВ); протонное излучение ($E < 10$ МэВ)	10
α -излучение ($E < 10$ МэВ)	20

Таблица 2

Значения взвешивающего коэффициента излучения (К) для разных органов

Ткани, органы	Взвешивающий коэффициент, К
Гонады	0,20
Костный мозг (красный)	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Грудная железа	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Клетки костных поверхностей	0,01
Остальное	0,05*

* «Остальное» включает надпочечники, головной мозг, экстраоракальный отдел органов дыхания, тонкий кишечник, почки, мышечную ткань, поджелудочную железу, селезенку, вилочковую железу и матку. В тех случаях, когда один из перечисленных органов или тканей получает эквивалентную дозу, превышающую самую большую дозу, полученную любым из 12 органов или тканей, для которых определены взвешивающие коэффициенты, следует приписать этому органу или ткани взвешивающий коэффициент, равный 0,025.

Продолжение приложения 1

Таблица 3

Основные пределы доз

Нормируемые величины*	Пределы доз	
	персонал (группа А)**	персонал (группа Б), население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза***	150 мЗв	15 мЗв
в коже****	500 мЗв	50 мЗв
в кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Примечания:

* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все нормативные значения для категории персонала приводятся только для группы А.

*** Относится к дозе на глубине 300 мкм.

**** Относится к среднему по площади в 1 см^2 значению в базальном слое кожи толщиной 5 мкм под покровным слоем толщиной 5 мкм. На ладонях толщина покровного слоя – 40 мкм. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см^2 площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает не превышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

Продолжение приложения 1

Таблица 4

Значение потенциальной максимальной годовой дозы при работе с источниками излучения в стандартных условиях, мЗв/год

Потенциальная максимальная годовая доза	Класс условий труда					
	Допустимый-2	Вредный-3				Опасный-4
		3.1	3.2	3.3	3.4	
Эффективная доза	≤ 5	>5-10	>10-20	>20-50	>50-100	>100
Эквивалентная доза в хрусталике глаза	≤ 37,5	>37,5-75	>75-150	>150-225	>225-300	>300
Эквивалентная доза в коже, кистях и стопах	≤ 125	>125-150	>250-500	>500-750	>750-1000	>1000

Таблица 5

Основные дозиметрические величины

Величина	Единица СИ	Внесистемная единица	Соотношение
Экспозиционная доза (X)	Кл/кг	Рентген	1Р=2,58·10 ⁻⁴ Кл/кг
Поглощенная доза (D)	Грей (Дж/кг)	Рад	1 Гр = 100 Рад 1 Рад = 1,14 Р
Эквивалентная доза (H)	Зиверт	Бэр	1 Зв = 100 БЭР
Мощность экспозиционной дозы (P _{эксп})	А/кг	р/с, р/ч	1 р/с = 2,6·10 ⁻⁴ А/кг 1 Р/ч = 7,2·10 ⁻⁸ А/кг
Мощность поглощенной дозы (P _{погл})	Вт/кг	рад/с, рад/ч	1 Рад/с = 0,01 Вт/кг 1 Рад/ч = 2,8·10 ⁻⁶ Вт/кг
Мощность эквивалентной дозы (P _{экв})	Вт/кг	БЭР/с, БЭР/ч	1 БЭР/с = 0,01 Вт/кг 1 БЭР/ч = 2,8·10 ⁻⁶ Вт/кг

Приложение 2

Таблица 1

Удельное сопротивление и магнитная проницаемость различных материалов

Материал экрана	Удельное сопротивление, Ом·м	Магнитная проницаемость, Гн/м
Алюминий	$2,8 \times 10^{-8}$	1
Медь	$1,7 \times 10^{-8}$	1
Латунь	$7,5 \times 10^{-8}$	1
Сталь	$1,0 \times 10^{-7}$	180

Приложение 3

Таблица 1

Коэффициенты отражения некоторых поверхностей и цветов

Объект	ρ , %	Объект	ρ , %
<i>Поверхность материала</i>			
Бумага белая	84	Дуб светлый	33
Фольга алюминиевая	83	Бетон сухой	32
Эмаль фарфоровая белая	65-75	Бетонные стены со светлыми обоями	30
Алюминий матовый	55-75	Линолеум светлый	21
Плитка фаянсовая белая	70	Стекло матированное	8-20
Бумага чистая	60-70	Листы цинковые	8-20
Кирпич белый	62	Кирпич красный	18
Сталь тонированная	50-55	Линолеум темный	16
Стекло молочное	50	Асфальт	8-12
Фанера	38	Бархат черный	6
<i>Цвет</i>			
Известково-белый	80	Оранжевый	25-30
Лимонно-желтый	70	Оливково-зеленый	25
Слоновой кости	70	Светло-коричневый	25
Кремовый	70	Бежевый	25
Охра светлая	60	Травянисто-зеленый	20
Зеленый	50	Бирюзово-синий	15
Голубой	40-50	Кармин	10
Серебристо-серый	35	Клинкер темный	10
Небесно-голубой	30	Черный	10

Продолжение приложения 3

Таблица 2

**Допустимая наименьшая освещенность рабочих поверхностей в
производственных помещениях при искусственном освещении**

Характеристика зрительной работы	Наименьший объект различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк, при	
						комбинированном	общем
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	a	Малый	Темный	5000	1500
			б	Малый	Средний	4000	1250
			в	Средний	Темный	2500	750
			г	Малый	Средний		
Большой	Темный	1500	400				
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,3	II	a	Малый	Темный	4000	1250
			б	Малый	Средний	3000	750
			в	Средний	Темный		
			г	Малый	Средний	2000	500
Большой	Темный	1000	300				
Большой	Средний						
Высшей точности	От 0,3 до 0,5	III	a	Малый	Темный	2000	500
			б	Малый	Средний	1000	300
			в	Средний	Средний	750	300
			г	Малый	Средний		
Большой	Темный	400	200				
Большой	Средний						
Большой	Средний						

Продолжение табл. 2

Характеристика зрительной работы	Наименьший объект различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк, при освещении	
						комбинированном	общем
Средней точности	От 0,5 до 1,0	IV	a	Малый	Темный	750	300
			б	Малый	Средний	500	200
			в	Средний	Темный		
			г	Малый	Светлый		
Малой точности	От 1,0 до 5,0	V	a	Средний	Средний	200	200
			б	Средний	Темный	200	150
			в	Малый	Светлый	200	150
			г	Средний	Средний		150
Очень малой точности	более 5,0	VI		Большой	Темный		100
				Большой	Светлый		
				Большой	Светлый		
				Большой	Средний		
Очень малой точности	более 5,0	VI		Независимые характеристики фона и контраста объекта с фоном	150	2	
Работа со светящимися материалами		VII		Независимые характеристики фона и контраста объекта с фоном	200	3	
Общее наблюдение за ходом процесса		VIII		Независимые характеристики фона и контраста объекта с фоном	75	1,0	

Продолжение приложения 3

Таблица 3

**Допустимые значения коэффициента естественного освещения в
производственных помещениях**

Характеристика зрительной работы	Наименьший объект различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	КЕО, % (естественное освещение)		
						При верхнем и боковом освещении	При боковом освещении	
							В зоне устойчивых снежных покровов	На остальной территории
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	a б в г	Малый Малый Средний Малый Средний Большой Средний	Темный Средний Темный Светлый Средний Темный Светлый	10	2,8	3,5
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,3	II	a б в г	Малый Малый Средний Малый Средний Большой Средний Большой Большой	Темный Средний Темный Светлый Средний Темный Светлый Светлый Средний	7	2	2,5
Высшей точности	От 0,3 до 0,5	III	a б в г	Малый Малый Средний Малый Средний Большой Средний Большой Большой	Темный Средний Средний Светлый Средний Темный Светлый Светлый средний	5	1,6	2

Продолжение табл. 3

Характеристика зрительной работы	Наименьший объект различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	КЕО, % (естественное освещение)		
						При верхнем и боковом освещении	При боковом освещении	
							В зоне устойчивых снежных покровов	На остальной территории
Средней точности	От 0,5 до 1,0	IV	а б в г	Малый Малый Средний Малый Средний Большой Средний Большой Большой	Темный Средний Темный Светлый Средний Темный Светлый Светлый Средний	4,0	1,2	1,5
Малой точности	От 1,0 до 5,0	V	а б в г	Малый Малый Средний Малый Средний Большой Средний Большой Большой	Темный Средний Темный Светлый Средний Темный Светлый Светлый Средний	3,0	0,8	1,0
Очень малой точности	более 5,0	VI		Независимые характеристики фона и контраста объекта с фоном		0,4	0,5	

Окончание табл. 3

Характеристика зрительной работы	Наименьший объект различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	КЕО, % (естественное освещение)		
						При верхнем и боковом освещении	При боковом освещении	
							В зоне устойчивым снежным покровом	На остальной территории
Работа со светящимися материалами		VII		Независимые характеристики фона и контраста объекта с фоном	0.8	1.0		
Общее наблюдение за ходом процесса		VIII		Независимые характеристики фона и контраста объекта с фоном	0.2	0.3		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общие положения	4
Требования к порядку выполнения лабораторных работ	4
Требования к оформлению, структуре, содержанию и защите отчета по лабораторной работе	5
Лабораторная работа № 1.	8
Измерение уровня ионизирующего излучения.....	8
Лабораторная работа № 2.	26
Измерение интенсивности сверхвысокочастотного излучения и оценка эффективности его экранирования	26
Лабораторная работа № 3.	37
Измерение интенсивности теплового излучения и оценка эффективности его экранирования	37
Лабораторная работа № 4.	50
Измерение параметров искусственного освещения и оценка эффективности использования источников света	50
Библиографический список.....	66
Приложение 1	68
Приложение 2	71
Приложение 3	71