

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный энергетический  
Университет имени В.И.Ленина»

Кафедра «Безопасности жизнедеятельности»

## **ЗАЩИТА ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Методические указания к лабораторной работе по курсу  
«Безопасность жизнедеятельности»

Иваново - 2009

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомить студентов с теорией теплового излучения, физической сущностью и инженерным расчетом теплоизоляции, с приборами для измерения тепловых потоков, нормативными требованиями к тепловому излучению, провести измерения интенсивности тепловых излучений в зависимости от расстояния до источника и оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов и воздушной завесы.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Лучистый теплообмен между телами представляет собой процесс распространения тепловой энергии, которая излучается в виде электромагнитных волн в видимой и инфракрасной (ИК) области спектра. Длина волны видимого излучения - от 0,38 до 0,77 мкм, инфракрасного - от 0,77 до 1000 мкм. Такое излучение называется *тепловым*. С учетом особенности биологического действия по длинам волн ИК-излучения делятся на области: коротковолновую, с  $\lambda = 0,76-15$  мкм, средневолновую, с  $\lambda = 16-100$  мкм, длинноволновую, с  $\lambda > 100$  мкм.

Производственные источники лучистого тепла по характеру излучения можно разделить на 4 группы:

*Источники с температурой поверхности до 500 °С* (паропроводы, наружная поверхность нагревательных, плавильных, обжиговых печей, сушил, парогенераторов и водогрейных котлов, выпарных аппаратов, теплообменников и др.). Их спектр содержит исключительно длинные инфракрасные лучи с длиной волны  $\lambda = 3,7 \div 9,3$  мкм.

*Поверхности с температурой  $t = 500 \div 1200$  °С* (внутренние поверхности печей, горнов, топок парогенераторов, расплавленные шлаки и металл и др.) Их спектр содержит преимущественно длинные инфракрасные лучи, но появляются и видимые лучи.

*Поверхности с  $t = 1200 \div 1800$  °С* (расплавленный металл и шлаки, пламя, разогретые электроды и др.) Их спектр – инфракрасные лучи вплоть до наиболее коротких, а также видимые, которые могут достигать высокой яркости.

*Источники с  $t > 1800$  °С* (дуговые печи, сварочные аппараты и др.). Их спектр излучения содержит наряду с инфракрасными и

световыми лучами, ультрафиолетовые лучи.

Воздух прозрачен (*диатермичен*) для теплового излучения, поэтому температура воздуха не повышается при прохождении через него лучистого тепла. Тепловые лучи поглощаются предметами, нагревают их и они становятся излучателями тепла. Воздух, соприкасаясь с нагретыми телами, также нагревается и температура воздушной среды в производственных помещениях возрастает.

Интенсивность теплового излучения может быть определена по формуле:

$$Q = 0,78F \cdot [(\dot{O}/100)^4 - 110]/l^2 \quad (1)$$

где Q - интенсивность теплового излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

F- площадь излучающей поверхности, м<sup>2</sup>;

T- температура излучающей поверхности, К;

l - расстояние от излучающей поверхности, м.

Из формулы (1) следует, что количество лучистого тепла, поглощаемого телом человека, зависит от температуры источника излучения, площади излучающей поверхности и квадрата расстояния между излучающей поверхностью и телом человека.

Тепловой обмен организма человека с окружающей средой заключается во взаимосвязи между образованием тепла (*термогенезом*) в результате жизнедеятельности организма и отдачей им этого тепла во внешнюю среду. Отдача тепла осуществляется, в основном, тремя способами: конвекцией, излучением и испарением.

Передача тепла ИК-излучением является наиболее эффективным способом теплоотдачи и составляет в комфортных метеоусловиях 44-59 % общей теплоотдачи. Тело человека излучает тепловую энергию в диапазоне длин волн от 5 до 25 мкм с максимумом энергии на длине волны 9,4 мкм.

В производственных условиях, когда работающий человек окружен предметами, имеющими температуру, отличную от температуры тела человека, соотношение способов теплоотдачи может существенно изменяться. Передача человеческим телом лучистой энергии во внешнюю среду возможна лишь тогда, когда температура окружающих предметов ниже температуры тела человека. Если температура окружающих предметов выше температуры человеческого тела, то направление потока лучистой энергии меняется на противоположное, и уже тело человека будет получать извне дополнительную тепловую энергию. Воздействие ИК лучей приводит к перегреву организма и тем быстрее, чем больше

мощность излучения, выше температура и влажность воздуха в рабочем помещении, выше интенсивность выполняемой работы.

ИК-излучение, помимо усиления теплового воздействия окружающей среды на организм работающего, обладает специфическим влиянием. С гигиенической точки зрения важной особенностью ИК-излучения является его способность проникать в живую ткань на разную глубину.

Лучи длинноволнового диапазона (от 3 мкм до 1 мм) задерживаются в поверхностных слоях кожи уже на глубине 0,1 - 0,2 мм. Поэтому их физиологическое воздействие на организм проявляется, главным образом, в повышении температуры кожи и перегреве организма.

Наибольшее воздействие на организм человека оказывает коротковолнового диапазона (от 0,77 до 1,4 мкм), так как оно обладает наибольшей энергией фотонов и способно глубоко проникать в ткани организма и интенсивно поглощаться водой, содержащейся в тканях. В практических условиях тепловое излучение является интегральным, так как нагретые тела излучают одновременно в широком диапазоне длин волн.

Под действием высоких температур и теплового облучения работающих происходят резкое нарушение теплового баланса в организме, биохимические сдвиги, появляются нарушения сердечно-сосудистой и нервной систем, усиливается потоотделение, происходит потеря нужных организму солей, нарушение зрения.

Все эти изменения могут проявиться в виде заболеваний:

- *судорожная болезнь*, вызванная нарушением водно-солевого баланса, характеризуется появлением резких судорог, преимущественно в конечностях;

- *перегревание* (тепловая гипертермия) возникает при накоплении избыточного тепла в организме; основным признаком является резкое повышение температуры тела;

- *тепловой удар* возникает в особо неблагоприятных условиях: выполнение тяжелой физической работы при высокой температуре воздуха в сочетании с высокой влажностью. Тепловые удары возникают в результате проникновения коротковолнового инфракрасного излучения (до 1,5 мкм) через покровы черепа в мягкие ткани головного мозга;

- *катаракта* (помутнение кристалликов) – профессиональное заболевание глаз, возникающее при длительном воздействии инфракрасных лучей с  $\lambda = 0,78-1,8$  мкм. К острым нарушениям

органов зрения относятся также ожог, конъюнктивиты, помутнение и ожог роговицы, ожог тканей передней камеры глаза.

Кроме того, ИК-излучение воздействует на обменные процессы в миокарде, водно-электролитный баланс в организме, на состояние верхних дыхательных путей (развитие хронического ларингита, синуситов), не исключается мутагенный эффект теплового излучения.

Поток тепловой энергии, кроме непосредственного воздействия на работающих, нагревает пол, стены, перекрытия, оборудование, в результате чего температура воздуха внутри помещения повышается, что также ухудшает условия работы.

## **2. НОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕГО**

Интенсивность теплового облучения человека регламентируется, исходя из субъективного ощущения человеком энергии облучения. Согласно [4] интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов не должна превышать: 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении более 50 % поверхности тела; 70 Вт/м<sup>2</sup> при облучении от 25 до 50 % поверхности тела; 100 Вт/м<sup>2</sup> - при облучении не более 25 % поверхности тела. От открытых источников (нагретые металл и стекло, открытое пламя) интенсивность теплового облучения не должна превышать 140 Вт/м<sup>2</sup> при облучении не более 25 % поверхности тела и обязательном использовании средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Нормы [5] ограничивают также температуру нагретых поверхностей оборудования в рабочей зоне, которая не должна превышать 45 °С, а для оборудования, внутри которого температура близка к 100 °С, температура на его поверхности должна быть не выше 35 °С.

В производственных условиях не всегда возможно выполнить нормативные требования. В этом случае должны быть предусмотрены мероприятия по защите работающих от возможного перегрева [3]: дистанционное управление ходом технологического процесса; воздушное или водо-воздушное душирование рабочих мест; устройство специально оборудованных комнат, кабин или рабочих мест для кратковременного отдыха с подачей в них кондиционированного воздуха; использование защитных экранов, водяных и воздушных завес; применение средств индивидуальной

защиты, спецодежды, спецобуви и др.

Одним из самых распространенных способов борьбы с тепловым излучением является экранирование излучающих поверхностей. Различают экраны трех типов: непрозрачные, прозрачные и полупрозрачные.

В непрозрачных экранах энергия электромагнитных колебаний взаимодействует с веществом экрана и превращается в тепловую энергию. Поглощая излучение, экран нагревается и, как всякое нагретое тело, становится источником теплового излучения. При этом излучение поверхностью экрана, противоположащей экранируемому источнику, условно рассматривается как пропущенное излучение источника. К непрозрачным экранам относятся, например, металлические (в т.ч. алюминиевые), альфолевые (алюминиевая фольга), футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые и др.

В прозрачных экранах излучение, взаимодействуя с веществом экрана, минует стадию превращения в тепловую энергию и распространяется внутри экрана по законам геометрической оптики, что и обеспечивает видимость через экран. Так ведут себя экраны, выполненные из различных стекол: силикатного, кварцевого, органического, металлизированного, а также пленочные водяные завесы (свободные и стекающие по стеклу), вододисперсные завесы.

Полупрозрачные экраны объединяют в себе свойства прозрачных и непрозрачных экранов. К ним относятся металлические сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. Однако это деление достаточно условно, так как каждый экран обладает одновременно способностью отражать, поглощать и отводить тепло. Отнесение экрана к той или иной группе производится в зависимости от того, какая его способность выражена сильнее.

Теплоотражающие экраны имеют низкую степень черноты поверхностей, вследствие чего они значительную часть падающей на них лучистой энергии отражают в обратном направлении. В качестве теплоотражающих материалов в конструкции экранов широко используют альфоль, листовой алюминий, оцинкованную сталь, алюминиевую краску.

Теплопоглощающими называют экраны, выполненные из материалов с высоким термическим сопротивлением (малым коэффициентом теплопроводности). В качестве теплопоглощающих

материалов применяют огнеупорный и теплоизоляционный кирпич, асбест, шлаковату.

В качестве теплоотводящих экранов наиболее широко используются водяные завесы, свободно падающие в виде пленки, орошающие другую экранирующую поверхность (например, металлическую), либо заключенные в специальный кожух из стекла (акварильные экраны), металла (змеевики) и др.

Оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов можно по формуле:

$$n = \frac{Q}{Q_3} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где  $Q$  - интенсивность теплового излучения без применения защиты, Вт/м

$Q_3$  - интенсивность теплового излучения с применением защиты, Вт/м<sup>2</sup>.

При устройстве общеобменной вентиляции, предназначенной для удаления избытка явного тепла, объем приточного воздуха  $L_{пр}$  (м<sup>3</sup>/ч) определяют по формуле:

$$n_{пр} = Q_i \cdot (T_y - T_{пр}) \cdot \rho_{пр} \cdot c, \quad (3)$$

где  $Q_i$  - избыток явного тепла, кДж/ч;

$T_y$  - температура удаляемого воздуха, °С;

$T_{пр}$  - температура приточного воздуха, °С;

$\rho_{пр}$  - плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  - удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг·град.

Температуру воздуха, удаляемого из помещения, определяют по формуле:

$$T_y = T_{р.з.} + \Delta T \cdot (H - 2), \quad (4)$$

где  $T_{р.з.}$  - температура в рабочей зоне, которая не должна превышать установленную санитарными нормами, °С;

$\Delta T$  - температурный градиент по высоте помещения, °С/м; (обычно 0,5 - 1,5 °С/м);

$H$  - расстояние от пола до центра вытяжных проемов, м;

2 - высота рабочей зоны, м.

Если количество образующихся тепловыделений незначительно или не может быть точно определено, то общеобменную вентиляцию рассчитывают по кратности воздухообмена  $n$ , которая показывает, сколько раз в течение часа происходит смена воздуха в помещении (обычно  $n$  находится пределах от 1 до 10, причем для помещений

небольшого объема используются более высокие значения  $n$ ).

Местную приточную вентиляцию широко используют для создания требуемых параметров микроклимата в ограниченном объеме, в частности, непосредственно на рабочем месте. Это достигается созданием воздушных оазисов, воздушных завес и воздушных душей.

*Воздушный оазис* создают в отдельных зонах рабочих помещений с высокой температурой. Для этого небольшую рабочую площадь закрывают легкими переносными перегородками высотой 2 м и в огороженное пространство подают прохладный воздух со скоростью 0,2 - 0,4 м/с.

*Воздушные завесы* создают для предупреждения проникновения в помещение наружного холодного воздуха путем подачи более теплого воздуха с большой скоростью (10-15 м/с) под некоторым углом навстречу холодному потоку.

*Воздушные души* применяют в горячих цехах на рабочих местах, находящихся под воздействием лучистого потока теплоты большой интенсивности (более 350 Вт/ м<sup>2</sup>).

Поток воздуха, направленный непосредственно на рабочего, позволяет увеличить отвод тепла от его тела в окружающую среду. Выбор скорости потока воздуха зависит от тяжести выполняемой работы, а также от интенсивности облучения, но она не должна, как правило, превышать 5 м/с, так как в этом случае у рабочего возникают неприятные ощущения (например, шум в ушах). Эффективность воздушных душей возрастает при охлаждении направляемого на рабочее место воздуха или же при подмешивании к нему мелко распыленной воды (водо-воздушный душ).

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 2.1. ОПИСАНИЕ СТЕНДА

Внешний вид стенда представлен на рисунке 1.

Стенд представляет собой стол со столешницей 1, на которой размещаются бытовой электрокамин 2, индикаторный блок 3, линейка 4, стойки 5 для установки сменных экранов 6, стойка 9 для установки измерительной головки 7 измерителя тепловых потоков, вентилятора 8, водяного насоса 14, душ 10, емкость с водой 11.

Стол выполнен в виде металлического сварного каркаса со

столешницей и полкой, на которой хранятся сменные экраны 6.

Бытовой электрокамин 2 используется в качестве источника теплового излучения.

Вентилятор 8 используется в качестве источника "воздушной завесы" и устанавливается на стойке 12 с помощью хомута 13 .

Металлические стойки 5 для установки сменных защитных экранов 6 обеспечивают их оперативную установку и замену.

Для установки измерительной головки 7 служит вертикальная стойка 9, закрепленная на плоском основании 15. На стойке 9 с помощью струбцины 16 с винтами крепится измерительная головка 7. Стойку можно вручную перемещать по столешнице вдоль линейки 4.

Стандартная металлическая линейка 4 предназначена для измерения расстояния от источника теплового излучения (электрокамина 2) до измерительной головки 7 и жестко закреплена на столешнице 1.

Водяной насос 14, душ 10 и емкость с водой 11 служат для создания «водяной завесы» совместно со стеклянным экраном 6. Душ 10 крепится к стойкам 5 при помощи двух хомутов 17.

Сменные экраны 6 имеют одинаковый размер, что позволяет поочередно устанавливать их между стойками 5. Металлические экраны выполнены в виде листов металла с направляющими. Экраны с цепями и брезентом выполнены в виде металлических рамок, в которых закреплены стальные цепи или брезент.

На левой боковой поверхности стола расположены выключатели 18, которые позволяют подключать к сети переменного тока электрокамин 2, вентилятор 8, измеритель теплового потока ИПП-2М и водяную помпу 14.

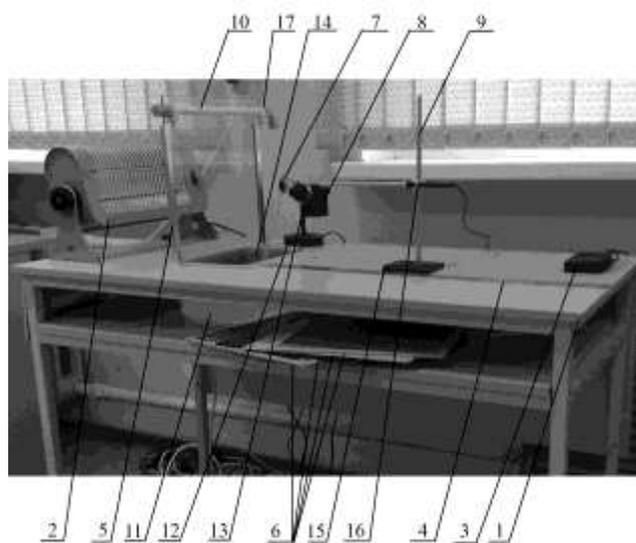


Рисунок 1. Внешний вид установки

## *2.2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ*

К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.

Запрещается использовать воздушную помпу более 30 минут непрерывно.

Не допускается работа с металлическим экраном более 5 мин.

Запрещается прикасаться к электронагревательному элементу электрокамина.

Смену экранов производить в теплоизоляционной рукавице.

Запрещается включать «водяную завесу» на разогретый стеклянный экран во избежание его повреждения.

После проведения лабораторной работы отключить электропитание стенда.

## *2.3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ*

2.3.1. Подключить лабораторный стенд к сети переменного тока. Включить источник теплового излучения и измеритель теплового потока ИПП-2м.

2.3.2. Установить головку 7 (см. рисунок 1) измерителя теплового потока в штативе таким образом, чтобы она была смещена относительно стойки 9 примерно на 100 мм (в направлении к источнику 2 теплового излучения). Вручную перемещать штатив вдоль линейки, устанавливая головку измерителя на различном расстоянии от источника теплового излучения, и определять интенсивность теплового излучения в этих точках (интенсивность определять как среднее значение не менее 5 замеров). Данные замеров занести в таблицу. Построить график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния.

2.3.3. Устанавливая различные защитные экраны, определить интенсивность теплового излучения на расстояниях, заданных преподавателем. Оценить эффективность защитного действия экранов по формуле (2). Построить график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния.

При проведении экспериментов с водяной завесой установить

стеклянный экран и, включив водяную помпу, создать стекающую по стеклу водяную завесу. Провести необходимые измерения, затем выключить водяную помпу и спустя 2-3 минуты (после установления теплового режима экрана) повторить измерения.

2.3.4. Установить защитный экран (по указанию преподавателя). Разместить рядом с ним воздуходувку, направив её сопло 14 в центр экрана под некоторым углом. Включить воздуходувку, имитируя устройство воздушного душирования, и спустя 2-3 минуты (после установления теплового режима экрана) определить интенсивность теплового излучения на тех же расстояниях, что и в п. 2.3.3. Оценить эффективность комбинированной тепловой защиты по формуле (2). Построить график зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния.

2.3.5. Установить воздуходувку на расстоянии 100 - 200 мм до головки измерителя теплового потока, направив поток воздуха перпендикулярно тепловому потоку - имитация «воздушной завесы». С помощью датчика температуры ИПП-2м измерить температуру воздуха в месте размещения тепловых экранов без воздушной завесы и с завесой. С помощью головки измерителя теплового потока убедиться в диатермичности воздуха, замеряя интенсивность теплового излучения без воздушной завесы и с завесой.

Составить отчет о работе.

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Курс, группа, состав бригады.

Общие сведения.

Данные измерений (табл. 1)

**Таблица 1. Результаты измерений**

Варианты тепловой защиты.	l, см	Q, Вт/м <sup>2</sup> .

Графики зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния.

Расчет эффективности защитного действия экранов.

Расчет эффективности комбинированной защиты.

Выводы.

## Контрольные вопросы

Назовите источники тепловых излучений в производственных условиях?

Назовите области ИК-диапазона спектра излучения и их длины волн.

От чего зависит тепловой эффект воздействия на организм человека?

От какой величины зависит глубина проникания лучистого тепла через кожный покров человека?

Как влияет длина волны излучения на организм человека?

Опишите возможные последствия теплового облучения для организма человека.

Охарактеризуйте основные меры защиты от теплового излучения в производственных условиях.

Принцип работы защитных экранов, устанавливаемых на пути теплового потока.

Дайте оценку эффективности экрана из цепей и водяной завесы.

Как рассчитать эффективность защитного экрана?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охрана труда. Г.Ф. Денисенко. - М.: Высшая школа, 1985.- 319 с.
2. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов / С.В.Белов, А.В.Ильинская, А.Ф.Козьяков и др. М. : Высшая школа, 1999. 488 с..
3. ГОСТ 12.4.045 - 87. «ССБТ. Средства защиты от инфракрасного излучения. Классификация. Общие технические требования. Госстандарт СССР, 1983. 19 с.
4. ГОСТ 12.1.005 - 88. «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования». Издательство стандартов , 1988. 75 с.
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. 21 с.