

6  
МОСКОВСКИЙ  
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)



Н.А.ЕВСТИГНЕЕВА

# **ЗАЩИТА ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Методические указания  
к лабораторной работе по курсу  
"БЕЗОПАСНОСТЬ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ"**

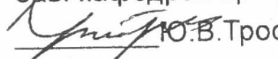
494

МОСКОВСКИЙ  
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Кафедра инженерной экологии

Утверждаю

Зав. кафедрой профессор

 Ю.В.Трофименко  
"10" марта 2006 г.

Н.А.ЕВСТИГНЕЕВА

## ЗАЩИТА ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методические указания  
к лабораторной работе по курсу  
"БЕЗОПАСНОСТЬ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ"

Р К  
БИБЛИОТЕКИ  
МАДИ (ГТУ)

МОСКВА 2006

УДК 628.518

ББК 51.24

Настоящие методические указания содержат основные сведения о тепловом (инфракрасном) излучении, его действии на организм человека, нормировании и методах защиты. Изложена методика исследования эффективности применения теплозащитных экранов.

Методические указания предназначены для студентов всех специальностей МАДИ (ГТУ).

## ВВЕДЕНИЕ

Микроклиматические условия производственных помещений существенным образом влияют на состояние человека и его работоспособность. Избыточные тепловыделения, создающие тяжелые условия труда, являются основным вредным производственным фактором в «горячих» цехах. Ведущую роль в профилактике негативного влияния инфракрасного излучения (ИКИ) на организм человека играют санитарно-технические мероприятия.

*Цель настоящей лабораторной работы* – закрепление на практике теоретических знаний, полученных студентами при изучении курса «Безопасность жизнедеятельности», о методах и средствах защиты работающих от ИКИ.

В ходе выполнения работы перед студентами ставятся следующие задачи:

- изучение коллективных средств защиты от ИКИ;
- исследование эффективности защиты от ИКИ расстоянием;
- исследование эффективности применения теплозащитных экранов;
- сопоставление результатов исследований с нормативными требованиями.



# 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

## 1.1. Характеристика теплового излучения

Каждое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля, постоянно излучает энергию. Процесс превращения тепловой энергии тела в лучистую называется тепловым излучением. Интенсивность излучения тела определяется его температурой и состоянием поверхности:

$$E = \sigma_0 \cdot \varepsilon \cdot T^4, \quad (1)$$

где  $E$  – интенсивность излучения тела, Вт/м<sup>2</sup>;

$\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\sigma_0 = 5,668 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$\varepsilon$  – интегральная степень черноты тела,  $\varepsilon = 0 \dots 1$ . Может существенно изменяться в зависимости от температуры, состояния поверхности (наличия оксидов, их состава, толщины оксидного слоя и пр.);

$T$  – абсолютная температура тела, К.

Данное соотношение (1), справедливое для серых тел<sup>1</sup>, является математическим выражением *закона Стефана-Больцмана* с поправкой на интегральную степень черноты  $\varepsilon$ .

При низких температурах количество излучаемой энергии невелико. Однако при повышении температуры тел излучение их резко возрастает, вследствие чего *при высоких температурах перенос тепла излучением становится преобладающим* по сравнению с теплопроводностью и конвекцией.

Тепловое излучение представляет собой процесс передачи тепла с помощью электромагнитных волн, скорость распространения которых в вакууме равна скорости света ( $3 \cdot 10^8$  м/с). Таким образом, характерными особенностями лучистого теплообмена являются очень большая скорость носителей и возможность передачи тепла от одного тела к другому при отсутствии какой-либо промежу-

<sup>1</sup> При практическом исследовании излучение многих реальных тел приближенно можно рассматривать как излучение *серых тел*.

точной среды между ними.

Источниками электромагнитных волн являются заряженные частицы (ионы и электроны), входящие в состав вещества. Различные виды движения этих заряженных частиц относительно друг друга приводят к испусканию электромагнитных волн различной частоты. Так, например, колебание ионов около положения равновесия в твердых телах вызывает испускание электромагнитных волн низкой частоты; движение свободных электронов в металлах относительно ионов приводит к испусканию электромагнитных волн различной частоты.

При этом необходимо отметить, что лучистая энергия испускается телами не непрерывно, а отдельными дискретными порциями – квантами света (или фотонами)<sup>1</sup>. Распространение излучения в пространстве характеризуется расходящимися в пределах полусферы лучами.

Все электромагнитные излучения имеют одинаковую природу и отличаются только длиной волны ( $\lambda$ ):

- космическое                      меньше  $0,05 \cdot 10^{-12}$  м;
- $\gamma$ -излучение                     $0,05 \cdot 10^{-12} \dots 0,1 \cdot 10^{-12}$  м;
- рентгеновское                     $10^{-12} \dots 10^{-8}$  м;
- ультрафиолетовое               $10^{-8} \dots 3,8 \cdot 10^{-7}$  м;
- видимое (световое)             $3,8 \cdot 10^{-7} \dots 7,7 \cdot 10^{-7}$  м;
- инфракрасное                     $7,7 \cdot 10^{-7} \dots 2 \cdot 10^{-4}$  м;
- радиоволны                        больше  $2 \cdot 10^{-4}$  м.

Распределение излучения по длинам волн характеризуется величиной спектральной интенсивности излучения  $E_\lambda$  ( $\text{Вт}/\text{м}^3$ ), то есть количеством энергии, излучаемой единицей поверхности за

<sup>1</sup> Точно такую же физическую природу излучения имеют и высокотемпературные газы. Переход электронов в атомах с более высокого энергетического уровня на более низкий сопровождается испусканием атомами фотонов определенной частоты.

единицу времени в единичном интервале длин волн по всем направлениям полусферического пространства (рис. 1).

$$E_{\lambda} = \frac{dE}{d\lambda}, \quad (2)$$

где  $d\lambda$  – элементарный интервал длин волн, м.

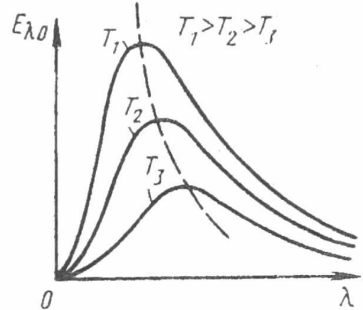
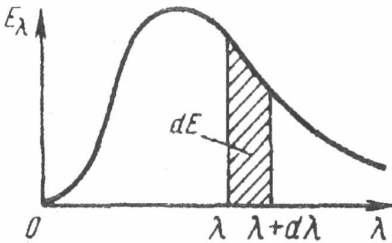


Рис. 1. Графическое определение спектральной интенсивности излучения

Рис.2. Спектры излучения абсолютно черного тела

Кривые спектральной интенсивности излучения характеризуются наличием максимума с резким спадом в сторону коротких волн и более пологим – в сторону длинных. На рис. 2 представлен спектр излучения абсолютно черного тела ( $\epsilon=1$ ).

Зависимость положения максимума спектральной интенсивности излучения от температуры устанавливает закон смещения Голицына – Вина<sup>1</sup>:

$$T \cdot \lambda_{\max} = b, \quad (3)$$

где  $T$  – температура источника излучения, К;

$\lambda_{\max}$  – длина волны, соответствующая максимуму спектральной интенсивности излучения, м;

$$b = 2,896 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

Согласно указанному закону при повышении температуры  $T$  дли-

<sup>1</sup> Закон Голицына-Вина полностью справедлив для серых тел.

на волны  $\lambda_{\max}$ , соответствующая максимуму спектральной интенсивности излучения, уменьшается (см. рис.2).

Наглядным подтверждением закона Голицына – Вина является изменение цвета раскаленного металла при повышении температуры (красный → оранжевый → желтый) в направлении более коротких волн в области видимой части спектра (табл.1).

Таблица 1

Границы длин волн ( $\lambda$ ) видимой части спектра и соответствующие им ощущения (цвета)

$\lambda$ , нм	ощущения (цвета)	$\lambda$ , нм	ощущения (цвета)
380 ... 455	фиолетовый	540 ... 590	желтый
455 ... 470	синий	590 ... 610	оранжевый
470 ... 500	голубой	610 ... 770	красный
500 ... 540	зеленый		

При температурах до  $500^{\circ}\text{C}$  основная доля из общего количества лучистой энергии приходится на область спектра с интервалом длин волн  $\lambda$  от  $3,7 \cdot 10^{-6}$  до  $9,3 \cdot 10^{-6}$  м. В этой области большая часть энергии излучения падает на инфракрасные лучи и небольшая часть – на световые.

В спектре излучения источников с температурой поверхности от  $500$  до  $1300^{\circ}\text{C}$  (открытые проемы нагревательных печей, открытое пламя, нагретые слитки, заготовки, расплавленный чугун, бронза) большая часть энергии приходится на длины волн в пределах  $1,9 \cdot 10^{-6} \dots 3,7 \cdot 10^{-6}$  м (инфракрасные лучи).

Спектр излучения источников с температурой от  $1300$  до  $1800^{\circ}\text{C}$  (расплавленная сталь, открытые проемы плавильных печей и др.) содержит инфракрасные лучи с  $\lambda_{\max} = 1,2 \cdot 10^{-6} \dots 1,9 \cdot 10^{-6}$  м и видимые лучи.

Спектр излучения источников с температурой свыше  $1800^{\circ}\text{C}$  (дуговые печи, сварочные аппараты) содержит все виды лучей оптического диапазона: инфракрасные, видимые и ультрафиолето-

вые.

Следовательно, с увеличением температуры происходит не только абсолютное увеличение интенсивности излучения, но также изменяется его спектральный состав. При температурах до  $3700^{\circ}\text{C}$  основная доля из общего количества лучистой энергии приходится на инфракрасные лучи и небольшая часть – на световые. При температурах выше  $5700^{\circ}\text{C}$  уже больше половины энергии приходится на видимую и ультрафиолетовую части спектра.

Таким образом, *тепловое излучение реальных тел, представляющее практический интерес, передается в основном электромагнитными волнами инфракрасного диапазона.*

Энергия теплового излучения, падающего на тело, может поглощаться, отражаться и пропускаться этими телами (рис. 3).

$$E_{\text{пад}} = E_{\text{погл}} + E_{\text{отр}} + E_{\text{проп}} \quad (4)$$

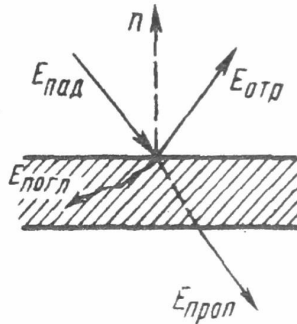


Рис.3. Распределение падающего излучения

*Поглощательной способностью  $A$  называется отношение поглощенной телом лучистой энергии к падающей.*

$$A = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}} \quad (5)$$

*Отражательной способностью  $R$  называется отношение от-*

раженной телом лучистой энергии к падающей.

$$R = \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}} \quad (6)$$

*Пропускательной способностью  $D$*  называется отношение прошедшей сквозь тело лучистой энергии к падающей.

$$D = \frac{E_{\text{проп}}}{E_{\text{пад}}} \quad (7)$$

Очевидно,

$$A + R + D = 1. \quad (8)$$

В частных случаях один или два коэффициента в выражении (8) могут быть равны нулю:

- если  $D = 1$ , а  $A = R = 0$ , то такое тело называется *абсолютно прозрачным* (диатермичным);
- если  $D = 0$ ,  $A + R = 1$ , то тело называется *непрозрачным*;
- если  $A = 1$ , а  $D = R = 0$ , то тело называется *абсолютно черным*;
- если  $R = 1$ , а  $A = D = 0$ , то тело называется *абсолютно белым*, когда отражение диффузное, то есть яркость отраженного излучения во всех направлениях одинакова, или *зеркальным*, когда отражение излучения подчиняется законам геометрической оптики.

*Реальные твердые и жидкие тела в своем большинстве являются непрозрачными для тепловых лучей. Такие тела излучают и поглощают инфракрасное излучение в очень тонком слое, непосредственно примыкающем к поверхности. Поэтому *тепловое излучение не зависит от массы этих тел и полностью определяется лишь геометрией и состоянием поверхности*. В связи с этим все количественные характеристики излучения для непрозрачных тел относятся к единице площади поверхности, а сам процесс теплово-*

го излучения приближенно рассматривается как поверхностный.

Воздух прозрачен (диатермичен) для теплового излучения, поэтому при прохождении лучистой энергии его температура не повышается. Инфракрасное излучение поглощается предметами, при этом они нагреваются. Последние в результате теплообмена с воздухом нагревают его.

## 1.2. Воздействие теплового излучения на организм человека

В производственной обстановке рабочие, находясь вблизи расплавленного или нагретого металла, пламени, горячих поверхностей и т.п., *подвергаются тепловому облучению*. В результате поглощения падающей энергии повышается температура кожи и лежащих глубже тканей. Интенсивность облучения в ряде случаев составляет значительную величину (до 3000...6000 Вт/м<sup>2</sup> и более<sup>1</sup>), в этих условиях избыточные тепловыделения становятся основным вредным производственным фактором.

Действие лучистого потока не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке тела, – на облучение реагирует весь организм. Под влиянием теплового облучения в организме человека происходят биохимические сдвиги (уменьшается кислородная насыщенность крови, повышается венозное давление, замедляется кровоток) и, как следствие, наступают нарушения в деятельности его основных систем, и в первую очередь сердечно-сосудистой и нервной.

Помимо непосредственного воздействия на человека поток лучистой энергии нагревает пол, стены, оборудование, что приводит к повышению температуры воздуха в помещении, а следовательно, ухудшает условия работы.

В табл. 2 представлена зависимость ощущений от интенсив-

<sup>1</sup> Например, при выпуске стали из печи в ковш интенсивность теплового облучения составляет 7000 Вт/м<sup>2</sup>, в момент заливки стали в форму – 12000 Вт/м<sup>2</sup>.

ности и длительности воздействия теплового излучения.

Таблица 2

Характер воздействия теплового излучения на человека

Интенсивность излучения, Вт/м <sup>2</sup>	Длительность воздействия, с	Характер воздействия
230...350	неопределенно долго	слабое
350...1050	180...300	умеренное
1050...1060	40...60	среднее
2100...2800	18...24	высокое
3500	2...5	очень высокое

Тепловое излучение интенсивностью до 350 Вт/м<sup>2</sup> не вызывает неприятного ощущения, а интенсивностью свыше 3500 Вт/м<sup>2</sup> уже через 2...5 с вызывает ощущение жжения и тепловой удар. Время пребывания в зоне теплового облучения лимитируется в первую очередь температурой кожи, болевое ощущение появляется при температуре кожи 40...45°С (в зависимости от участка).

Воздействие теплового потока на организм зависит также и от спектральной характеристики излучения. По характеру воздействия на организм человека инфракрасные лучи подразделяются на коротковолновые с длиной волны  $\lambda = 770...1500$  нм (лучи Фохта) и длинноволновые с  $\lambda > 1500$  нм.

Тепловые излучения коротковолнового диапазона наиболее активны, так как обладают наибольшей энергией фотонов Э.

$$\mathcal{E} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}, \quad (9)$$

- где  $h$  – постоянная Планка,  $h \approx 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж · с;  
 $\nu$  – частота волны, с<sup>-1</sup>;  
 $c$  – скорость света в вакууме,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.



Они глубоко (на несколько сантиметров) проникают в ткани, в том числе мозговую ткань, и разогревают их, вызывая при этом быструю утомляемость, понижение внимания, усиленное потоотделение, а при длительном воздействии – тепловой удар, внешне выражающийся в повышении температуры человека до 40...41°C, обильном потоотделении, головной боли, головокружении, слабости, учащении пульса, ускорении дыхания, падании сердечной деятельности, потере сознания и т.д.

Длинноволновые инфракрасные лучи ( $\lambda > 1500$  нм) глубоко в ткани не проникают и поглощаются в основном кожным покровом уже на глубине 0,1...0,2 мм. Поэтому их физиологическое действие на организм проявляется, главным образом, в повышении температуры тела и перегреве организма. Такие лучи могут вызвать ожог кожи и глаз.

Наиболее поражаемые органы у человека – кожный покров и органы зрения. При остром повреждении кожи возможны ожоги, резкое расширение капилляров, усиление пигментации кожи, при хроническом облучении изменение пигментации может быть стойким, например эритемоподобный (красный) цвет лица у рабочих – стеклодувов, сталеваров и др.

Наиболее частым и тяжелым поражением глаз вследствие воздействия инфракрасных лучей является ожог конъюнктивы, помутнение и ожог роговицы, ожог тканей передней камеры глаза. При остром интенсивном и длительном облучении возможно образование катаракты (помутнение хрусталика глаза). Коротковолновая часть инфракрасного излучения может фокусироваться на сетчатке, вызывая ее повреждение.

Возможно воздействие инфракрасного излучения и на другие системы и органы человека: на обменные процессы в миокарде, состояние верхних дыхательных путей (развитие хронического ларингита, ринита, синуситов), водно-электролитный баланс организма, не исключается и мутагенный эффект.

### 1.3. Нормирование теплового облучения

Нормирование облучения осуществляется по интенсивности допустимых суммарных потоков энергии с учетом длины волны, размера облучаемой поверхности, продолжительности воздействия в соответствии с ГОСТ 12.1.005 – 88 и СанПиН 2.2.4.548 – 96.

Указанные документы устанавливают следующие значения предельно допустимого уровня интенсивности теплового облучения работающих от нагретых до темного свечения поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляций на постоянных и непостоянных рабочих местах в течение 8-часовой рабочей смены:

- 35,0 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50% поверхности человека и более,
- 70,0 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 25...50% поверхности тела,
- 100 Вт/м<sup>2</sup> при облучении не более 25% поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, открытое пламя и др.), не должна превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>. При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательно должны использоваться средства индивидуальной защиты, в том числе средства защиты лица и глаз.

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины интенсивности теплового облучения работающих невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу или экономически обоснованной нецелесообразности, условия микроклимата следует рассматривать как вредные и опасные.

## 1.4. Защита от теплового излучения

Промышленная защита от негативного влияния теплового излучения достигается:

- максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов с исключением ручного труда и выводом работающих из «горячих» зон;
- оптимальным размещением оборудования и рабочих мест;
- применением средств индивидуальной и коллективной защиты.

В качестве средств коллективной защиты от лучистых тепловых воздействий используют:

- теплоизоляцию поверхностей источников излучения;
- экранирование источников либо рабочих мест;
- специальные системы вентиляции (воздушное душирование и др.).

Теплоизоляция поверхностей источников излучения является эффективным мероприятием не только по уменьшению интенсивности теплового облучения от нагретых поверхностей, но и предотвращению ожогов при прикосновении к этим поверхностям. По действующим нормам температура нагретых поверхностей оборудования в рабочей зоне должна быть не выше 35°C при температуре внутри источника тепла до 100°C и не выше 45°C при температуре внутри источника тепла выше 100°C.

Основной показатель, характеризующий эффективность теплоизоляционных материалов, – низкий коэффициент теплопроводности, который при температурах 50...100°C составляет для большинства из них 0,025...0,2 Вт/(м·К).

Для теплоизоляции используют различные материалы, например, алюминиевую фольгу, асбестовую ткань и картон, специальные бетон и кирпич, минеральную и шлаковую вату, стеклоткань, углеродный войлок и др.

Конструктивно теплоизоляция может быть *мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий и смешанной* (рис. 4).



Рис. 4. Виды теплоизоляции

✓ Мастичная изоляция осуществляется нанесением мастики (штукатурного раствора с теплоизоляционным наполнителем) на горячую поверхность изолируемого объекта. Эту изоляцию можно применять на объектах любой конфигурации.

✓ Оберточную изоляцию изготавливают из волокнистых материалов – асбестовой ткани, минеральной ваты, войлока и др. Устройство оберточной изоляции проще мастичной, но на объектах сложной конфигурации ее труднее закреплять. Наиболее пригодна оберточная изоляция для трубопроводов.

✓ Засыпную изоляцию применяют реже, так как необходимо устанавливать кожух вокруг изолируемого объекта. Эту изоляцию используют в основном при прокладке трубопроводов в каналах и коробках, там, где требуется большая толщина изоляционного слоя, или при изготовлении теплоизоляционных панелей.

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

✓ Смешанная изоляция состоит из нескольких различных слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Наружный слой изготавливают из мастичной или оберточной изоляции. Целесообразно использовать алюминиевые кожухи снаружи теплоизоляции. Затраты на устройство кожухов быстро окупаются вследствие уменьшения тепловых потерь на излучение и повышения долговечности изоляции под кожухом.

Кроме улучшений условий труда тепловая изоляция уменьша-

ет тепловые потери оборудования, снижает расход электроэнергии (топлива, пара) и приводит к увеличению производительности агрегатов. Однако следует иметь в виду, что тепловая изоляция, повышая рабочую температуру изолируемых элементов, может резко сократить срок их службы, особенно в тех случаях, когда теплоизолируемые конструкции находятся в температурных условиях, близких к верхнему допустимому пределу для данного материала.

Наиболее распространенным и эффективным способом защиты от теплового излучения является экранирование. Теплозащитные экраны применяют для локализации источников теплового излучения, снижения облученности на рабочих местах, а также для снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место.

Для количественной характеристики защитного действия экрана используют следующие показатели:

- *кратность ослабления теплового потока*

$$m = \frac{E_1}{E_2}, \quad (10)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – интенсивность теплового облучения на рабочем месте соответственно до и после установки экранов, Вт/м<sup>2</sup>;

- *эффективность действия экрана*

$$\eta_{\text{э}} = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \cdot 100\% . \quad (11)$$

Показатель  $m$  определяет, во сколько раз первоначальный поток на рабочем месте превышал тепловой поток после установки экрана; а показатель  $\eta_{\text{э}}$  – какая часть первоначального потока не доходит до рабочего места, защищенного экраном. Эффективность  $\eta_{\text{э}}$  для большинства экранов находится в пределах 50...98,8%.

По принципу действия различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны (рис. 5). Это деление

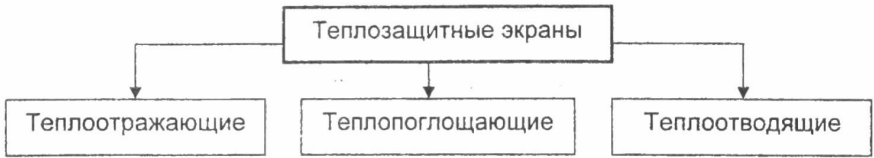


Рис. 5. Классификация теплозащитных экранов по принципу действия

условно, так как любой экран обладает способностью отражать, поглощать или отводить тепло. Принадлежность экрана к той или иной группе зависит от того, какое свойство у него более выражено. По степени прозрачности для световых лучей (способности пропускать световой поток без изменения его направления) экраны делятся на три типа: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные (рис. 6).

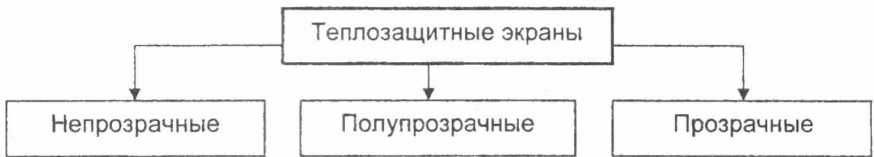


Рис. 6. Классификация теплозащитных экранов по степени прозрачности для световых лучей

К непрозрачным экранам относятся, например, металлические, альфоловые (алюминиевая фольга), футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые и др. К прозрачным – экраны, выполненные из различных стекол: силикатного, кварцевого, органического, металлизированного, а также пленочные водяные завесы (свободные и стекающие по стеклу), вододисперсные завесы. К полупрозрачным экранам относятся металлические сетки; целные завесы; экраны из стекла, армированного металлической сеткой.

Теплоотражающие экраны используются для локализации тепловыделений от поверхности печей, покрытия наружных поверхностей кабин, постов управления. Эти экраны имеют низкую сте-

пень черноты поверхностей  $\epsilon$ , вследствие чего они значительную часть падающей на них энергии отражают в обратном направлении. В качестве материалов для непрозрачных теплоотражающих экранов используют альфоль, алюминий листовой, белую жель, оцинкованное железо, алюминиевую краску. Эффективность теплозащиты таких экранов 80...98%.

Теплопоглощающие экраны представляют собой конструкции, выполненные из материалов с высоким термическим сопротивлением (малым коэффициентом теплопроводности). Непрозрачные экраны изготавливают из огнеупорного кирпича (типа шамота), асбестового картона.

Теплопоглощающие прозрачные экраны выполняют из различных бесцветных и окрашенных стекол: силикатного – для защиты от источников с температурой 700°C; органического – для защиты от источников с температурой 900°C. Эффективность теплозащиты стекол зависит от температуры источника излучения и при  $t = 1000^\circ\text{C}$  достигает 86%.

К полупрозрачным<sup>1</sup> теплопоглощающим экранам относятся металлические сетки (размер ячейки 3...3,5 мм), цепные завесы. Такие экраны уступают по эффективности сплошным экранам поэтому их применяют при интенсивности излучения менее 1050 Вт/м<sup>2</sup>. Эффективность экранов из сетки: однослойной – 33...50%, двухслойной – 57...74%. Цепные завесы с эффективностью до 70% применяют при интенсивностях облучения 700...5000 Вт/м<sup>2</sup>. Для повышения эффективности тепловой защиты устанавливают двойные экраны или применяют орошение экранов водяной пленкой.

Теплоотводящие экраны представляют собой полые стальные конструкции (плиты), охлаждаемые изнутри водой или водовоздушной смесью. Они могут применяться при любых интенсивно-

<sup>1</sup> Полупрозрачные экраны используют для проведения наблюдений или ввода через них материалов или инструментов.

стях теплового излучения. Своеобразным теплоотводящим прозрачным экраном служит так называемая водяная завеса, которую устраивают у технологических отверстий промышленных печей и через которую вводят внутрь печей инструменты, обрабатываемые материалы, заготовки и др.

**Воздушные души**, обеспечивающие подачу приточного воздуха в виде воздушной струи на рабочее место (рис. 7), применяются в основном для нормализации условий труда при интенсивности теплового облучения  $350 \text{ Вт/м}^2$  и более.

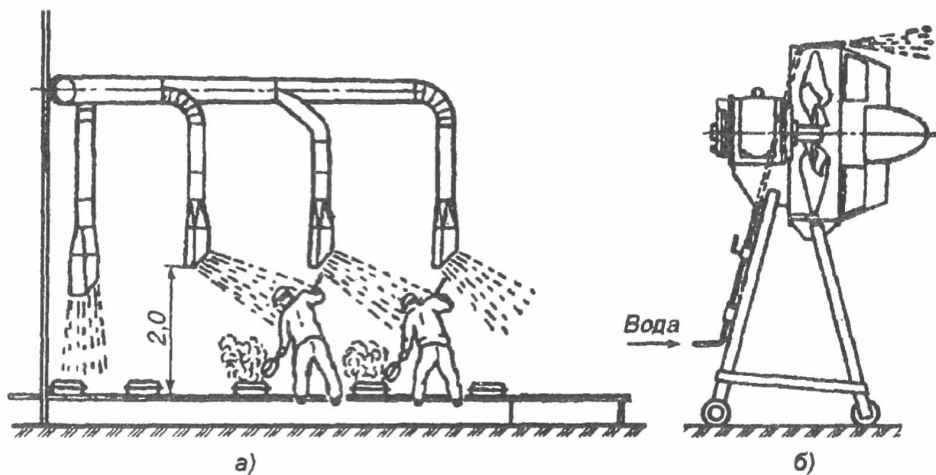


Рис. 7. Установки воздушного душирования:

а – стационарная; б – передвижная

Приточная струя, выходящая из душирующего патрубка, должна быть направлена на облучаемые поверхности работающего – на грудь человека – горизонтально или сверху под углом  $45^\circ$ . В потоке воздуха из душирующего патрубка должны быть по возможности обеспечены равномерная скорость и одинаковая температура. Расстояние от места выпуска до рабочего места должно быть не менее 1 м. Минимальный диаметр патрубка принимают равным 0,3 м. Действие воздушного потока основано на увеличении конвективного



оттока теплоты при возрастании скорости движения обдуваемого воздуха.

Температуры и скорости движения воздуха, которые должны обеспечивать приточные струи, следует принимать по ГОСТ 12.1.005 – 88. В зависимости от категории тяжести работ и интенсивности облучения скорость обдува (скорость движения воздуха в струе) составляет 1...3,5 м/с, температура в струе 17...28°С.

*Установки* воздушного душирования бывают *стационарные* (рис. 7, а), когда воздух на фиксированное рабочее место подается по системе воздуховодов с приточными насадками, и *передвижные* (рис. 7, б), в которых используется осевой вентилятор. Эффективность таких душирующих агрегатов повышается при распылении воды в струе воздуха (*водовоздушное душирование*). При использовании воды отток тепла усиливается за счет испарения влаги.

Особенно широкое применение воздушные души находят в цехах со значительными тепловыделениями: сталеплавильных, кузнечных, прессовых, прокатных и пр.

Для периодического охлаждения рабочих устраивают *радиационные кабины, комнаты отдыха*.

В тех случаях, когда нормативные условия трудовой деятельности не могут быть обеспечены конструкцией оборудования, организацией производства, архитектурно-планировочными решениями и средствами коллективной защиты, следует применять *средства индивидуальной защиты от инфракрасного излучения* (для защиты глаз, лица и тела) согласно ГОСТ 12.4.221 – 2002.

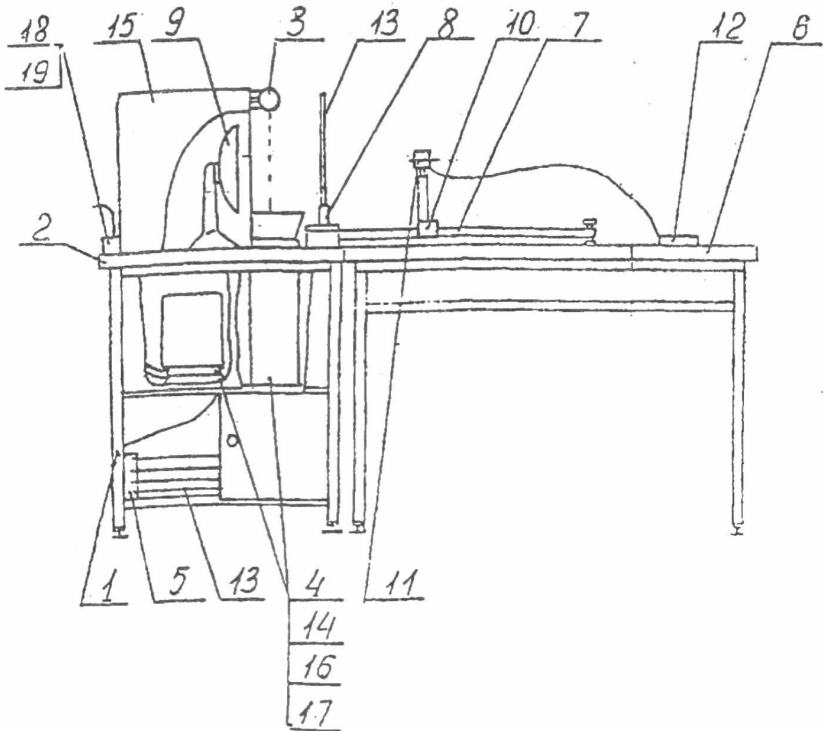
Выбор теплозащитных средств в каждом отдельном случае должен осуществляться по максимальным значениям эффективности с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для данного процесса и вида работ и технико-экономического обоснования.

## 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

### 2.1. Лабораторный стенд БЖ 3

#### 2.1.1. Устройство и принцип работы

Стенд предназначен для проведения лабораторных работ по курсу «Безопасность жизнедеятельности». Схема стенда приведена на *рис.8*.



*Рис. 8.* Схема лабораторного стенда БЖ 3

Стенд представляет собой тумбу монтажную 1, выполненную в виде металлического сварного каркаса, на котором устанавливается столешница 2 и устройство 3 для создания водяной завесы, а под

столешницей – замкнутая гидросистема 4 и кассета 5 для хранения комплекта сменных экранов. Кассета и гидросистема закрыты стенками и дверцами. Стенки и дверцы закрепляются на металлическом каркасе тумбы.

На столешнице 2 закреплены направляющая линейка 7, узел установки экранов 8, а также размещен источник теплового излучения (бытовой электрокамин ЭКПС-1,0/220) 9. Свободным концом линейка 7 опирается на стол лабораторный 6, который устанавливается рядом с тумбой 1.

На линейке 7 установлена подвижная каретка 10. На подвижной каретке 10 закреплена головка 11 измерителя 12 теплового излучения. В качестве измерителя 12 используется неселективный радиометр «Аргус-03» (рис.9).

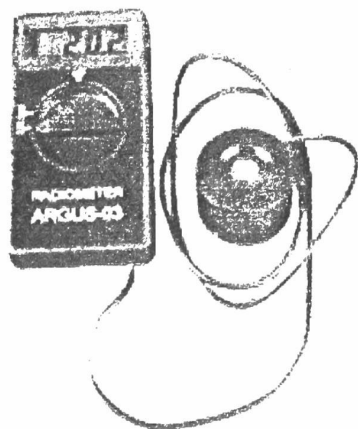


Рис 9. Радиометр неселективный «Аргус-03»

Диапазон измерений  $1... 2 \cdot 10^2$  Вт/м<sup>2</sup>.  
Спектральный диапазон 0,2...50,0 мкм.  
Основная относительная погрешность 6%.  
Питание: батарея типа «Крона».  
Потребляемая мощность 0,02 Вт.

Параметры	Индикаторный блок	Датчик
размеры (мм)	125x68x30	диам. 52x50
масса (г)	150	100

В узел установки экранов 8 помещаются 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. Устройство имеет предохранительный клапан. Непосредственно под устройством 3 расположен бак 14 для приема во-

ды.

Источник теплового излучения 9 имеет защитный кожух 15.

Замкнутая гидросистема 4, питающая устройство 3 для создания водяной завесы, состоит из водяного насоса 16, бака 14 для приема воды и сетчатого фильтра 17. Все элементы гидросистемы соединяются между собой и устройством для создания водяной завесы гибкими шлангами. Бак 14 оснащен штуцером для слива воды.

Кассета 5 имеет направляющие для установки сменных экранов.

На столешнице 2 закреплены простой удлинитель 18 для подключения к сети источника теплового излучения и удлинитель с выключателем 19, который также закреплен на столешнице 2.

### 2.1.2. Меры безопасности при работе

1. К работе на стенде допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.
2. **Запрещается** включать электрокамин на полную мощность 1 кВт (включать оба выключателя).
3. **Запрещается** снимать защитный кожух, которым закрыт электрокамин.
4. **Запрещается** прикасаться к электронагревательным элементам камина.
5. Не допускать перегрузки (зашкаливания) измерительного прибора.
6. Отключить стенд по окончании выполнения работы.

### 2.1.3. Возможные неисправности и способы их устранения

Перечень наиболее часто встречающихся и возможных неисправностей приведен в *табл.3*.

Таблица 3

Наименование неисправности, внешнее проявление и дополнительные признаки	Вероятная причина	Способ устранения
Не работает гидросистема стэнда	Нарушена цепь электропитания насоса гидросистемы	Проверить монтаж электрической цепи питания и устранить неисправность
Отсутствие теплового излучения от источника	Нарушена цепь электропитания насоса гидросистемы	Проверить монтаж электрической цепи питания и устранить неисправность

## 2.2. Подготовка к проведению работы

1. Залить 5 л воды в бак гидросистемы.
2. Залить в насосную часть электронасоса воду.
3. Подключить удлинители, расположенные на столешнице монтажной тумбы, к сети переменного тока (напряжение 220 В, частота 50 Гц).
4. Подключить источник теплового излучения (электрокамин) к розетке удлинителя без выключателя, а электронасос – к розетке удлинителя с выключателем.
5. Включить верхний нагревательный элемент электрокамина мощностью 0,5 кВт (с помощью выключателя, расположенного слева). Для установления постоянного теплового излучения электрокамин должен прогреться.

## 2.3. Порядок выполнения работы

### 2.3.1. Исследование интенсивности облучения на различном удалении от источника

1. Включить радиометр (переключатель, находящийся на корпусе прибора, установить в положение «Вт/м<sup>2</sup>»).
2. Измерить интенсивность теплового потока  $E_1$  в шести точках

на различном удалении  $L$  (0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 м) от источника излучения, перемещая вдоль линейки штатив с измерительной головкой радиометра.

3. Занести показания  $E_1$ , считанные с индикатора радиометра, в табл.4.
4. Выключить радиометр (привести переключатель в положение «OFF»).
5. Построить на миллиметровой бумаге график зависимости  $E_1 = f(L)$ .

### 2.3.2. Исследование эффективности применения теплозащитных экранов

1. Установить поочередно между источником излучения и радиометром защитные экраны:
  - 1) *стальной*,
  - 2) *цепной*,
  - 3) *парусиновый*,
  - 4) *эбонитовый*;
  - 5) для создания *водяной завесы* включить электронасос (с помощью выключателя удлинителя).После установки экрана дать ему прогреться в течение 2...3 мин. и продолжить исследование.
2. Измерить интенсивность теплового потока  $E_2$  в шести точках на различном удалении  $L$  (0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 м) от источника, перемещая вдоль линейки штатив с измерительной головкой радиометра.
3. Занести показания  $E_2$ , считанные с индикатора радиометра, в табл.5.
4. Выключить радиометр (привести переключатель в положение «OFF»).

Таблица 4

Интенсивность теплового облучения на различном удалении от источника ( $E_1$ )

Вид защитного экрана	Интенсивность теплового облучения $E_1$ ( $Вт/м^2$ ) на расстоянии $L$ (м) от источника					Норматив $E$ ( $Вт/м^2$ )	Вывод
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7		
Без экрана							

Таблица 5

Интенсивность теплового облучения на различном расстоянии от источника ( $E_2$ ) при использовании теплозащитного экрана

№ п/п	Вид защитного экрана	Интенсивность теплового облучения $E_2$ ( $Вт/м^2$ ) на расстоянии $L$ (м) от источника					Норматив $E$ ( $Вт/м^2$ )	Вывод
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7		
1	Стальной							
2	Цепной							
3	Парусиновый							
4	Эбонитовый							
5	Водяная завеса							

5. Построить на миллиметровой бумаге графики зависимости  $E_2 = f(L)$  для каждого экрана.
6. По полученным данным рассчитать количественные характеристики защитного действия экранов ( $m$  и  $\eta_{\text{э}}$ ). Результаты внести в табл. 6, 7; а также построить (на миллиметровой бумаге) зависимости  $m = f(L)$  и  $\eta_{\text{э}} = f(L)$  для каждого экрана.

Таблица 6

Кратность ослабления теплового потока экраном

№ п/п	Вид защитного экрана	m на различном расстоянии от источника L (м)					
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	Стальной						
2	Цепной						
3	Парусиновый						
4	Эбонитовый						
5	Водяная завеса						

Таблица 7

Эффективность действия экрана, %

№ п/п	Вид защитного экрана	$\eta_{\text{э}}$ на различном расстоянии от источника L (м)					
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	Стальной						
2	Цепной						
3	Парусиновый						
4	Эбонитовый						
5	Водяная завеса						



### 3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет выполняется в тетради или на отдельных листах и должен содержать следующее.

1. Титульный лист по форме 1 (рис.10).
2. Изложение цели работы.
3. Порядок выполнения работы (в виде блок-схемы).
4. Шаблоны табл. 4...7.
5. Результаты измерений, сведенные в табл. 4...7. Все необходимые расчеты должны быть проведены в соответствии с правилами приближенных вычислений (прил.).
6. Выполненные на миллиметровой бумаге графики зависимостей  $E_1 = f(L)$ ,  $E_2 = f(L)$ ,  $m = f(L)$  и  $\eta_э = f(L)$ .
7. Выводы.

### 4. УСЛОВИЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Наличие оформленных п. 1...4 отчета.
2. Успешное прохождение теста, определяющего подготовленность к выполнению работы.

### 5. УСЛОВИЕ ДОПУСКА К ЗАЩИТЕ РАБОТЫ

Наличие полностью оформленного отчета с отметками преподавателя о допуске и выполнении работы.

Московский автомобильно-дорожный институт  
(государственный технический университет)

Кафедра инженерной экологии

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА  
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»

Защита от теплового излучения

Студент: Ф.И.О.  
группа  
Преподаватель: Ф.И.О.

Отметка о допуске \_\_\_\_\_ дата подпись преподавателя  
Отметка о выполнении \_\_\_\_\_ дата подпись преподавателя  
Отметка о защите \_\_\_\_\_ дата подпись преподавателя

Москва 20\_\_ год

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение теплового излучения.
2. Основные характеристики теплового излучения.
3. Чем определяется интенсивность излучения серого тела?
4. Почему излучение большинства реальных твердых и жидких тел не зависит от их массы, а определяется лишь геометрией и состоянием поверхности?
5. Какое тело называют:
  - а) абсолютно черным;
  - б) диатермичным;
  - в) зеркальным?
6. Дать определение спектральной интенсивности излучения.
7. Как определить положение максимума на кривой спектральной интенсивности излучения?
8. Чем определяется спектральный состав излучения?
9. Насколько опасно инфракрасное излучение коротковолнового диапазона?
10. Принцип нормирования теплового облучения.
11. Перечислить методы и средства защиты от теплового излучения.
12. Виды теплозащитных экранов, условия их применения.
13. Количественные характеристики защитного действия тепловых экранов.
14. Основные симптомы теплового удара.
15. Воздушное и водовоздушное душирование.

## КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Абсолютно черное тело** – тело, которое полностью поглощает все падающее на него электромагнитное излучение. Свойствами абсолютно черного тела обладает отверстие в непрозрачном полом теле.

**Асбест** – обобщенное название минералов класса силикатов (групп серпентина и амфибола), образующих тонковолокнистые агрегаты. Наибольшее значение имеет хризотил-асбест. Огнестойкие (температура плавления около 1500°С), щелоче- и кислотоупорные, нетеплопроводные диэлектрики. Наполнители пластмасс, асбестоцементов, материал для огнестойких и теплоизоляционных изделий.

**Битум** (от лат. *bitumen* – горная смола) – твердые или жидкие водонерастворимые (преимущественно черного цвета) смеси углеводородов и их кислородных, сернистых и азотистых производных. Различают битумы природные (например, вязкие, подвергшиеся выветриванию нефти) и искусственные, получаемые главным образом из остатков от перегонки нефтей, крекинга и очистки масел (так называемые нефтяные битумы).

**Воздушное душирование** – подача приточного воздуха в виде воздушной струи, направленной на рабочее место. Применяют при воздействии на работающего теплового облучения интенсивностью 350 Вт/м<sup>2</sup> и более.

**Войлок** – текстильный материал, получают валянием шерстяных, минеральных или химических волокон, а также минеральной ваты (на битумной связке). Используют главным образом как прокладочный, тепло- и звукоизоляционный материал.

**Жесть** – тонкая холоднокатаная отожженная листовая сталь (толщина 0,08...0,32 мм).

**Инсоляция** – освещение солнечными лучами.

**Интегральная степень черноты тела  $\varepsilon$**  – отношение плотностей потока (интенсивностей) излучения данного тела  $E$  и абсолютно черного тела  $E_0$ :  $\varepsilon = E/E_0$ .

**Катаракта** (от греч. *katarrhaktes* – водопад) – помутнение хрусталика глаза в результате старческого нарушения питания тканей, диабета, повреждения глаза и других причин. Резко ухудшает зрение.

**Керамзит** (от греч. *keramos* – глина) – искусственный пористый гравиеподобный материал. Размер зерен 5...40 мм. Получают обжигом (во вращающихся печах) легкоплавких вспучивающихся глинистых пород.

**Конвекция** – процесс переноса тепла вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов газа или жидкости.

**Конъюнктивита** (от позднелат. *conjunctivus* – соединительный) – соединительно-тканная прозрачная оболочка глаза; покрывает заднюю поверхность век и переднюю часть глаза до роговицы.

**Коэффициент теплопроводности  $\lambda$**  – физическая характеристика вещества, отражает способность данного вещества проводить тепло. Численно коэффициент теплопроводности  $\lambda$  равен количеству тепла, проходящего в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности при условии, что градиент температур в рассматриваемой точке равен единице. Размерность в системе СИ – Вт/(м·К). Для разных веществ величина  $\lambda$  различна. Лучшими проводниками тепла являются металлы, а худшими – газы.

**Ларингит** – воспаление слизистой оболочки гортани. Проявления: кашель, хрипота, потеря голоса. При повторных заболеваниях, злоупотреблении курением, алкоголем ларингит может стать хроническим.

**Лучистый (радиационный) теплообмен** – передача тепла, обусловленная превращением внутренней энергии вещества в энергию излучения, переносом излучения и его последующим погло-

щением другим веществом.

**Минеральная вата** – теплоизоляционный строительный материал, получаемый переработкой расплавов металлургических (главным образом доменных) шлаков и некоторых горных пород (например, известково-глинистых сланцев) в стекловидное волокно. Усредненный состав сырья для производства минеральной ваты (масс.%):

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O
48	12	8	12	18	2

Минеральную вату применяют обычно в виде готовых изделий (плит, матов, скорлуп), полученных на синтетической или битумной связке.

**Миокард** (от греч. *mys*, родительный падеж *mysos* – мышца и *kardia* – сердце) – мышечная ткань сердца, составляющая основную часть его массы.

**Непостоянное рабочее место** – место, на котором работающий находится меньшую часть (менее 50% или менее 2 ч непрерывно) своего рабочего времени.

**Оптическое излучение** – электромагнитные волны с длиной в диапазоне от 10 нм до 0,2 мм. К оптическому излучению помимо воспринимаемого человеческим глазом видимого света относятся инфракрасное и ультрафиолетовое излучения.

**Органическое стекло** – прозрачный твердый материал на основе органических полимеров, например полиакрилатов, полистирола, поликарбонатов. Отличается сравнительно невысокой плотностью, малой хрупкостью; размягчается при значительно более низкой температуре, чем силикатное стекло.

**Пемза** – пористая, легкая вулканическая горная порода, образующаяся в результате вспучивания и быстрого застывания кислой лавы. Пористость пемзы 80%, объемная масса 400...900 кг/м<sup>3</sup>.

**Плотность потока излучения (интенсивность излучения)  $E$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ )** – полное количество лучистой энергии, излучаемой полусферой за единицу времени единицей площади поверхности:

$$E = \frac{dQ}{dF},$$

где  $dQ$  – элементарный поток излучения, Вт;  
 $dF$  – элементарная площадка,  $\text{м}^2$ .

**Постоянное рабочее место** – место, на котором работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50% или более 2 ч непрерывно).

**Ринит** (от греч. *rhis*, родительный падеж *rhinos* – нос) – насморк, воспаление слизистой оболочки носа.

**Роговица** – передняя прозрачная часть наружной оболочки глаза.

**Серое тело** – тело, спектр излучения которого непрерывен и полностью подобен спектру абсолютно черного тела при той же температуре (рис. 11), а спектральная степень черноты постоянна во всем диапазоне длин волн от 0 до  $\infty$  и не зависит от температуры ( $\epsilon_\lambda = \epsilon$ ). Излучение серого тела описывается теми же законами, что и излучение абсолютно черного тела (с поправкой на степень черноты  $\epsilon$ ).

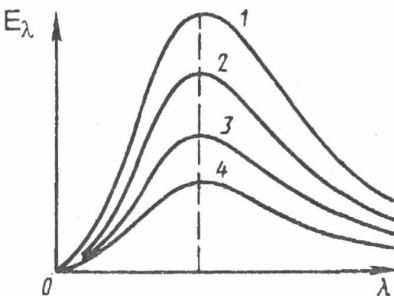


Рис. 11. Спектры излучения серых тел:  
1 –  $\epsilon = 1$  (абсолютно черное тело);  
2 –  $\epsilon = 0,8$ ;  
3 –  $\epsilon = 0,6$ ;  
4 –  $\epsilon = 0,4$ .

**Синуситы** (от лат. *sinus* – пазуха) – воспаление слизистой оболочки, а иногда и костных стенок придаточных пазух носа: верхнечелюстной (*гайморит*), лобной (*фронтит*), основной (*сфеноидит*), решетчатой (*этмоидит*). Общие признаки синуситов: го-

ловная боль, обильные выделения из носа, затруднение носового дыхания.

**Спектральная интенсивность излучения  $E_\lambda$  ( $Вт/м^3$ )** – количество энергии, излучаемой единицей поверхности за единицу времени в единичном интервале длин волн по всем направлениям полусферического пространства:

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda},$$

где  $dE$  – элементарная плотность потока излучения,  $Вт/м^2$ ;

$d\lambda$  – элементарный интервал длин волн, м.

$E_\lambda$  зависит от длины волны, температуры, вида и состояния поверхности.

**Стекло** – твердый аморфный прозрачный в той или иной области оптического диапазона (в зависимости от состава) материал, полученный при остывании расплава, содержащего стеклообразующие компоненты (оксиды Si, B, Al, P и т.д.) и оксиды металлов (Li, K, Mg, Pb и т.д.). Наиболее распространено силикатное стекло.

**Стекловата** представляет собой минеральное волокно, которое по технологии получения и свойствам имеет много общего с минеральной ватой. Стекловату получают в основном фильерно-дутьевым способом. Усредненный состав сырья для производства стекловаты (масс.%):

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
63	2	3	9	16	7

С использованием стекловаты изготавливают следующие виды теплоизоляционных изделий: маты (мягкие плиты), прошивные маты и полужесткие плиты на синтетической связке; а также жгуты (шнуры).

**Стекловолокно** формируют из расплавленного стекла. Обладает высокими теплостойкостью, диэлектрическими свойствами,



модулем упругости, прочностью при растяжении, устойчивостью к химическим реагентам, низкой теплопроводностью (0,030...0,052 Вт/(м·К)). Применяется в виде нитей, жгутов (шнуров), тканей, нетканых материалов как армирующий наполнитель для стеклопластиков, фильтровальный, электро- и теплоизоляционный материал, в волокнистой оптике и др.

**Телесный угол** – мера раствора некоторой конической поверхности. Его можно определить как отношение поверхности шарового сегмента  $\sigma$  к квадрату радиуса сферы  $r$ :  $\Omega = \frac{\sigma}{r^2}$ . Единицей измерения телесного угла является стерадиан (ср).

**Тепловое излучение** – процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волны, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела. Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме равна скорости света ( $3 \cdot 10^8$  м/с). Тепловое излучение подчиняется основным законам распространения света, то есть законам отражения, преломления и поглощения.

**Тепловой удар** – острое заболевание человека и животных, обусловленное нарушением теплорегуляции при длительном воздействии на организм высокой температуры внешней среды или непосредственном воздействии солнечных лучей (солнечный удар). У человека проявляется головной болью, рвотой, обмороком и др.

**Теплопроводность** – процесс переноса тепла вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц (атомов, молекул или электронов), непосредственно соприкасающихся друг с другом.

**Терморегуляция** – процессы регулирования тепловыделений для поддержания постоянной температуры тела человека.

**Фольга** – тонкие листы или ленты (2...100 мкм) из различных металлов и сплавов (Al, Sn, Pb, Sn – Pb и др.).

**Фотон** – квант электромагнитного поля.

**Футеровка** (от немец. *futter* – подкладка) – защитная внутренняя облицовка (например, из кирпичей, блоков) печей, топок, труб, емкостей т.д. Различают футеровку огнеупорную, химически стойкую и теплоизоляционную.

**Шамот** – огнеупорная глина или каолин, обожженные до потери пластичности, удаления химически связанной воды и определенной степени спекания.

**Шлак** – расплав оксидов (после затвердевания – камне- или стекло-видное вещество), обычно покрывающий поверхность жидкого металла в плавильных печах.

**Яркость излучения  $B$  ( $\text{кД}/\text{м}^2$ )** – количество энергии, излучаемое единицей площади поверхности, расположенной перпендикулярно направлению излучения, в единицу времени, в единицу телесного угла (рис. 12):

$$B = \frac{dQ_{\varphi}}{d\Omega \cdot dF \cdot \cos \varphi},$$

где  $dQ_{\varphi}$  – элементарный поток излучения в данном направлении, Вт;

$d\Omega$  – элементарный телесный угол, ср;

$dF$  – элементарная площадка,  $\text{м}^2$ ;

$\varphi$  – угол между направлением излучения и нормалью к площадке  $dF$ .

В системе СИ измеряется в *канделах* на квадратный метр.

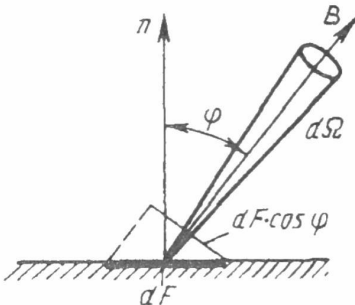


Рис. 12.

Схема к определению яркости излучения  $B$

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ПРАВИЛА ПРИБЛИЖЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

#### Запись приближенных чисел

Результат измерений представляет собой приближенное число, точность которого определяется ошибкой. *Приближенное число* записывают так, чтобы ошибка последней цифры не превышала десяти единиц соответствующего разряда. При такой записи все цифры числа, кроме последней, будут *верными*. Последняя цифра называется *сомнительной*, все цифры правее сомнительной – *неверными*.

При записи окончательного результата все неверные цифры отбрасываются с соблюдением правил округления. Если приближенное число входит в расчетную формулу (в вычисления), в нем сохраняют одну неверную цифру – *запасную*. Например, если результат измерения равен 1,2763, а ошибка – 0,02, то окончательный результат –  $1,28 \pm 0,02$  (отброшены две неверные цифры, оставлены две верные и одна сомнительная), если же результат измерения входит в вычисления, то используется число 1,276, где цифра 6 – *запасная*.

В таблицах математических и физических величин приводятся числа только с верными и одной сомнительной цифрой, за максимальную (т.е. предельную) ошибку округления принимается половина единицы сомнительной цифры.

*Пример 1.* В тригонометрических таблицах можно найти значение  $\sin 48^\circ$ , оно равно 0,7431. Ошибка округления принимается равной  $\pm 0,00005$ .

*Пример 2.* В физических таблицах можно найти значение плотности ртути, при  $20^\circ\text{C}$  оно равно  $19,5458 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Ошибка округления  $\pm 0,00005 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

#### Правила округления

1. Если первая отбрасываемая цифра больше пяти, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу; если отбрасываемая цифра меньше пяти, то последняя цифра оставляется без измене-

ний.

2. Когда отбрасывается только цифра 5, а последующих цифр младших разрядов нет или они неизвестны, то сохраняемая четная цифра увеличивается на единицу.
3. При округлении целых чисел все цифры, отброшенные при округлении, заменяются множителем  $10^n$ , где  $n$  – количество отброшенных цифр.

*Пример* округления целого числа:  $x = 30367 \approx 30 \cdot 10^3$ .

*Пример* округления дроби:  $x = 9,8066 \approx 9,81$ .

### **Вычисления с приближенными числами**

Точность результата математических операций с приближенными числами определяется количеством значащих цифр в этих числах. *Значащими* цифрами числа называются все верные и сомнительная цифры. Незначащими считаются все нули, стоящие левее первой значащей цифры.

Результат любого арифметического действия с приближенными числами – есть также приближенное число, в котором могут быть и неверные цифры, подлежащие отбрасыванию. Так как сложение и умножение верной цифры и неверной дают неверную, а верной и сомнительной – сомнительную, то результат вычислений, очевидно, не может быть точнее самого неточного числа в исходных данных. Отсюда ясно, что не только окончательные результаты, но и числа в промежуточных выкладках, а также исходные приближенные числа необходимо округлять. Округление производится следующим образом.

1. *При сложении и вычитании* все слагаемые округляют до сомнительной цифры, стоящей в самом высшем разряде, а затем производят сложение (или вычитание):

$$\begin{aligned}x &= 3,14 + 0,847 + 0,936 + 0,0736 + 0,0383 \approx \\ &\approx 3,14 + 0,85 + 0,94 + 0,07 + 0,04 = 5,04.\end{aligned}$$

Если округления не делать, то сумма будет равна 5,0359, где две последние цифры не верны, так как в первом слагаемом верных

цифр только две, третья – сомнительная, а далее могут быть неизвестные цифры. Округление существенно облегчило получение результата без потери точности.

*При вычитании* близких по величине чисел возможна потеря относительной точности. Например, в случае разности

$$x = 5,7256 - 5,7243 = 0,0013$$

исходные данные имеют по 5 значащих цифр, а результат – две, причем только одну верную цифру. Увеличение точности в таком случае возможно только путем изменения метода измерений (или вычислений) и, следовательно, использования расчетной формулы, не содержащей разности близких величин.

2. *При умножении и делении* в полученном результате будет столько значащих цифр, сколько в исходном данном с наименьшим количеством значащих цифр. Аналогично предыдущему следует предварительно округлять все числа, оставляя, если это может повлиять на результат, одну запасную цифру:

$$x = 0,035835 \cdot 62,3 \approx 0,0358 \cdot 62,3 \approx 2,23.$$

3. *При возведении в степень и извлечении корня* приближенного числа должно быть оставлено значащих цифр столько, сколько их в основании:

$$x = 2,84^3 \approx 22,9.$$

В числе, полученном после извлечения корня любой степени, следует оставлять столько же значащих цифр, сколько их было в числе под корнем:

$$x = \sqrt{4,5400} \approx 2,1307.$$

4. *При логарифмировании* в мантиссе приближенного числа берется столько значащих цифр, сколько их в логарифмируемом числе:

$$x = \ln 10,0 \approx 2,30.$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова: Учебник для вузов. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 606 с.: ил.
2. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. проф. Л.А.Муравья: Учебное пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 431с.
3. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (охрана труда) / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Е.А. Подгорных и др.; Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1999. – 318 с.
4. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др.: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2001. – 431 с.: ил.
5. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике: Учеб. для авиационных специальностей вузов/ В.С. Авдуевский, Б.М. Галицейский, Г.А. Глебов и др.; Под общ. ред. В.С. Авдуевского, В.К. Кошкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.: ил.
6. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов / Е.Я. Юдин, С.В. Белов, С.К. Баланцев и др.; Под ред. Е.Я.Юдина, С.В. Белова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.
7. Паспорт стенда лабораторного «Защита от теплового излучения БЖ 3». – М.: РНПО «Росучприбор», 1999.
8. Русак О.Н., Малаян К.Р., Занько Н.Г. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие/ Под ред. О.Н. Русака. – СПб.: Изд-во «Лань»; М.: ООО Изд-во «Омега – Л», 2005. – 448 с.
9. Сивков В.П., Старостин И.И. Защита от тепловых излучений (БЖС 3)// Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». - 2005. - №4. – С.20-24.
10. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 4-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 1600 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Основные теоретические положения . . . . .	4
1.1. Характеристика теплового излучения . . . . .	4
1.2. Воздействие теплового излучения на организм человека.	10
1.3. Нормирование теплового облучения . . . . .	13
1.4. Защита от теплового излучения. . . . .	13
2. Методика проведения работы . . . . .	21
2.1. Лабораторный стенд БЖ 3 . . . . .	21
2.1.1. Устройство и принцип работы . . . . .	21
2.1.2. Меры безопасности при работе . . . . .	23
2.1.3. Возможные неисправности и способы их устранения .	23
2.2. Подготовка к проведению работы . . . . .	24
2.3. Порядок выполнения работы . . . . .	24
2.3.1. Исследование интенсивности облучения на различном удалении от источника . . . . .	24
2.3.2. Исследование эффективности применения теплозащитных экранов . . . . .	25
3. Требования к оформлению отчета . . . . .	28
4. Условия допуска к выполнению работы . . . . .	28
5. Условие допуска к защите работы . . . . .	28
6. Контрольные вопросы . . . . .	30
Краткий словарь терминов . . . . .	31
Приложение . . . . .	38
Литература . . . . .	41



403392

Редактор В.В. Солопова  
Технический редактор В.В. Солопова  
Компьютерный набор и верстка Н.А. Евстигнеевой



**Учебно-методическая литература  
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»,  
подготовленная преподавателями  
кафедры инженерной экологии МАДИ (ГТУ)  
и изданная в 2004 – 2006 годах**

1. *Кузнецов Ю.М.* Нормативное правовое обеспечение охраны труда: Учеб. пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2004. – 36 с.
2. *Евстигнеева Н.А.* Методы очистки атмосферного воздуха от загрязнителей (паро- и газообразных): Методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2004. – 36 с.
3. *Евстигнеева Н.А.* Эколого-экономическая оценка мероприятий по совершенствованию дорожной сети: Методические указания к расчетно-практическим работам по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2004. – 79 с.
4. *Дорофеев Э.А.* Морально-психологическая подготовка личности и коллектива к действиям в чрезвычайных ситуациях: Учеб. пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2005. – 60 с.
5. *Евстигнеева Н.А.* Анализ электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В: Методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2005. – 51 с.
6. *Евстигнеева Н.А., Кузнецов Ю.М., Гогиберидзе О.Э.* Микроклимат производственных помещений: Методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2005. – 87 с.
7. Методические указания к дипломному проектированию по разделу «Производственная и экологическая безопасность»/ *Под ред. Ю.В. Трофименко, Ю.М. Кузнецова* / МАДИ (ГТУ). – М., 2005. – 120 с.
8. *Евстигнеева Н.А.* Защита от теплового излучения: Методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2006. – 44 с.

---

*По вопросу приобретения литературы обращаться  
по тел. 155-07-29, 155-07-41, 155-08-07.*