



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**Ю.В. Сомова**  
**Е.А. Волкова**  
**Е.А. Москвина**

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве практикума*

Магнитогорск  
2019

УДК 629  
ББК 30.69/20.1

**Рецензенты:**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,  
доцент кафедры стандартизации, сертификации  
и технологии продуктов питания,  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»  
**И.А. Долматова**

директор ООО «Южно-Уральский Центр  
Дополнительного Образования»  
**Э.И. Соколова**

**Сомова Ю.В., Волкова Е.А., Москвина Е.А.**

**Обеспечение безопасности и экологичности технических систем**  
[Электронный ресурс] : практикум / Юлия Васильевна Сомова, Елена Александровна Волкова, Елена Алексеевна Москвина ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,14 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2019. – 1 электрон. опт. диск (DVD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Практикум составлен в соответствии с типовой программой дисциплин «Источники загрязнения среды обитания», «Экспертиза безопасности», «Экология» для обучающихся по направлению подготовки «Техносферная безопасность».

Для специалиста в области безопасности очень важно умение произвести расчёты загрязнения компонентов окружающей среды. Эти расчёты включают в себя прогнозирование концентраций загрязняющих веществ в различных средах (атмосфере, снежном покрове, почве, поверхностных и подземных водах) при воздействии источников загрязнения, а также установление норм воздействия исходя из предельно допустимых и фоновых концентраций загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды.

Практикум предназначен для обучающихся направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность».

УДК 629  
ББК 30.69/20.1

© Сомова Ю.В., Волкова Е.А., Москвина Е.А., 2019  
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова», 2019

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ВИДЫ ВЕНТИЛЯЦИИ .....	6
2. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ТЕПЛОВЫХ И ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ .....	17
2.1. Расчет средств защиты от тепловых излучений .....	17
2.2. Средства защиты от теплового излучения .....	21
2.3. Расчет теплоотражающих экранов .....	22
2.4. Расчет теплопоглощающих экранов .....	24
3. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	29
3.1. Основные понятия и определения .....	29
3.2. Расчет толщины защитного экрана при работе с рентгеновской трубкой .....	32
3.3. Оценка эффективности защитных мероприятий от излучений монитора с электронно-лучевой трубкой .....	35
4. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ .....	37
4.1. Основные понятия и определения .....	37
4.2. Расчет резиновых виброизоляторов .....	41
4.3. Расчет пружинных виброизоляторов .....	44
5. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ .....	51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	60
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 .....	64

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ причин появления опасности для человека при его взаимодействии с техническими системами позволяет выделить причины – организационные и технические. Для устранения организационных причин совершенствуются технологический процесс, уточняются процедуры подготовки и контроля операторов. При этом техническая система рассматривается как замкнутая система, взаимодействующая с окружающей средой. В этом случае под окружающей средой понимается комплекс условий на каждом этапе жизненного цикла системы. В комплекс условий включаются все возможные факторы, воздействующие на систему, в том числе профессионализм конструкторов, технологические факторы производственного процесса изготовления, режимы эксплуатации (электрические, тепловые и др.). Объективной закономерностью является то, что при переходе от этапа к этапу в жизненном цикле технической системы количество воздействующих на систему факторов возрастает, увеличивается и степень жесткости их влияния. Это ведет к уменьшению надежности и увеличению опасности в цепочке «человек-техническая система-окружающая среда», что делает задачу обеспечения безопасности технических систем чрезвычайно сложной.

На практике необходимый уровень безопасности технических средств и технологических процессов устанавливается системой государственных стандартов безопасности труда (ССБТ) с помощью соответствующих показателей. Стандарты формулируют общие требования безопасности, а также требования безопасности к различным группам оборудования, производственных процессов, требования к средствам обеспечения безопасности труда.

Нормативные показатели безопасности во всех сферах труда разрабатываются в соответствии с санитарными нормами и вводятся посредством соответствующих государственных стандартов (ГОСТ).

Соответствующие нормативы, гарантирующие безопасное взаимодействие человека с техническими системами и технологическими процессами, установлены для электромагнитных полей, электрического напряжения и тока, излучений оптического диапазона, ионизирующих излучений, химических, биологических и психофизических опасных и вредных факторов. При разработке технических средств и технологий применяются все возможные меры для снижения опасных и вредных факторов ниже предельно допустимого уровня. Для каждого технического средства разрабатываются правила эксплуатации, гарантирующие безопасность при их выполнении. Для каждой технологической операции также разрабатываются правила техники безопасности.

Технические системы и технологии представляют опасность для человека своим опосредованным действием, так как современное производство сопровождается загрязнением окружающей среды, во взаимодействии с которой человек живет. Проблемы охраны окружающей среды требуют государственного законодательного регулирования, контроля на региональном

уровне с участием общественности. Это связано с тем, что однозначное определение источников и размеров экологического ущерба в каждом конкретном случае представляет значительные трудности. Кроме того, обеспечение экологической безопасности производственных процессов и технических средств требует расходов, повышающих их стоимость, и может быть экономически целесообразным только при адекватном возмещении виновниками экологического ущерба, нанесенного окружающей среде.

## 1. ВИДЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

### Санитарно-гигиенические требования предъявляемые к системам вентиляции

Виды вентиляции:

1. По способу побуждения воздуха:
  - искусственная;
  - естественная;
  - смешанная.
2. По способу осуществления воздухообмена:
  - регулируемая;
  - нерегулируемая.
3. По охвату рабочих мест и зон:
  - местная;
  - общеобменная;
  - комбинированная.
4. По назначению:
  - рабочая;
  - аварийная.
5. По принципу действия:
  - вытяжная;
  - приточная;
  - приточно-вытяжная.
6. По характеру распределения воздуха:
  - компактная;
  - рассредоточенная.

Санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к системам вентиляции:

1. Превышение объема приточного воздуха над объемом вытяжки 10...15%.
2. Подача воздуха из зоны с наименьшим выделением вредных и удаление из мест наибольшего его загрязнения.
3. Отсутствие переохлаждения или перегревания работающих.
4. Выход загрязненного воздуха только в проветриваемые участки прилегающей территории.
5. Соответствие уровней шума и вибрации при работе вентиляции установленным нормам.
6. Простота устройства и надежность в эксплуатации.
7. Пожаро- и взрывобезопасность.

### Определение необходимого воздухообмена

Воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч, при нормальном микроклимате и отсутствии вредных веществ или содержании их в пределах норм можно определить по формуле

$$L = n \cdot L_1,$$

где  $n$  – численность работающих;

$L_1$  – расход воздуха на одного работающего, м<sup>3</sup>/ч, не менее:

- 30 – при объеме помещения, приходящемся на одного рабочего, менее 20 м<sup>3</sup>;
- 20 – при 20...40 м<sup>3</sup>;
- 40 – в производственных помещениях без световых проемов.

Для помещения, где на одного работающего приходится более 40 м<sup>3</sup> воздуха, и при естественной вентиляции (через открытые форточки, двери и т.п.) воздухообмен не рассчитывают.

Для санитарно-бытовых, общественных и вспомогательных помещений необходимое для удаления вредностей количество воздуха допускается определять по кратности воздухообмена. Например, коэффициент кратности воздухообмена для административных помещений равен 1,5 (по вытяжке), вестибюлей – 2 (по притоку), залов совещаний вместимостью до 100 человек – 3 (по притоку и вытяжке), курительных – 10 (по вытяжке), помещений для отдыха – 5 (по притоку) и 4 (по вытяжке), умывальных – 1 (по вытяжке) и т.д.

При выделении в воздух производственных помещений вредных веществ производительность систем вентиляции по притоку и вытяжке следует определять, руководствуясь количеством вредностей, поступающих в помещения.

Количество воздуха, необходимое для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в рабочей зоне, рассчитывают:

- для помещений с тепловыделениями – по избыточному количеству явной теплоты;
- для помещений с тепло- и влаговыделениями – по избыточному количеству явной теплоты, влаги и скрытой теплоты в рабочей зоне;
- для помещений с выделением вредных газов и пыли – по количеству вредностей, поступающих в рабочую зону, исходя из условий снижения их концентраций до предельно допустимых. Если неизвестно количество вредностей, выделяющихся в пределах рабочей зоны, то воздухообмен следует рассчитывать по всему помещению на основе полного количества выделяющихся в нем вредностей.

Воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч, необходимый для поддержания температуры воздуха в помещении в заданных пределах

$$L = \frac{Q}{C_M},$$

где  $Q$  – избыточное количество теплоты, выделяемое всеми источниками внутри помещения, кДж/ч;

$C_M$  – удельная массовая теплоемкость воздуха, равная 0,99 кДж/(кг К);

$T_B$  – нормативное значение температуры внутреннего воздуха в помещении, К;

$T_{н.в}$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем вентиляции, К;

$\rho_{н.в}$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Воздухообмен, требуемый для сохранения оптимальной относительной влажности воздуха в помещении

$$L = \frac{100 \cdot W}{\rho_{н.в.} \cdot (d_B \cdot j_B - d_H \cdot j_H)},$$

где  $W$  – количество водяных паров, выделяющихся в помещении г/ч;

$d_B, d_H$  – влагосодержание соответственно внутреннего и наружного воздуха при максимальном его насыщении и заданной температуре, г/кг;

$j_B, j_H$  – относительная влажность соответственно внутреннего и наружного воздуха, %.

Воздухообмен, необходимый для снижения концентрации выделяющихся вредностей до предельно допустимого значения, определяют, исходя из равенства производительности приточной и вытяжной вентиляции. Из схемы (рис.1) следует, что

$$L_{пр} \cdot g_{пр} + G = L_v \cdot g_v,$$

где  $L_{пр}, L_v$  – производительность соответственно приточной и вытяжной вентиляции, м<sup>3</sup>/ч;

$g_{пр}, g_v$  – концентрация вредностей соответственно в подаваемом (приточном) и удаляемом из помещения воздухе, мг/м<sup>3</sup>;

$G$  – максимальное количество вредностей, выделяющихся в помещении, мг/ч.

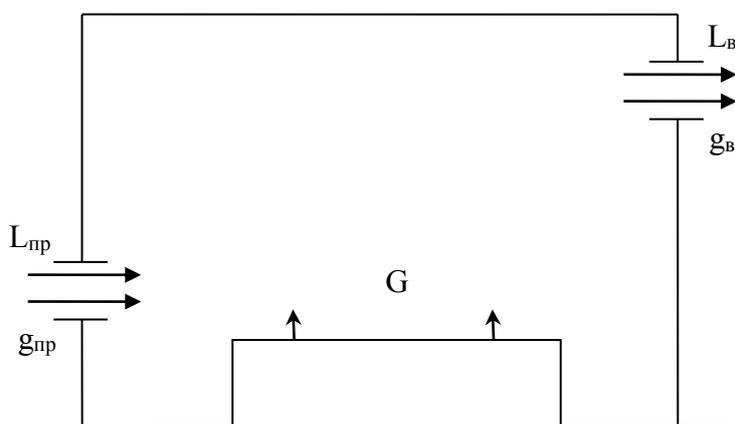


Рис. 1. Схема к расчету воздухообмена при выделении в помещении вредных веществ

Так как  $L_{пр} \approx L_v \approx L$ , то последнее уравнение можно записать в следующем виде

$$L \cdot (g_v - g_{пр}) = G,$$

откуда

$$L = \frac{G}{g_в - g_n}$$

Поскольку концентрация вредных веществ в удаляемом из помещения воздухе не должна превышать предельно допустимого значения, то можно записать  $g_в = g_{пдк}$ . Тогда воздухообмен, м<sup>3</sup>/ч,

$$L = \frac{G}{g_{пдк} - g_{пр}}$$

В воздухе, подаваемом системами вентиляции в помещение, вредности в основном отсутствуют, т.е.  $g_{пр} = 0$ . В этой ситуации последняя формула примет вид

$$L = \frac{G}{g_{пдк}}$$

В производственных помещениях часто выделяется не одна, а несколько различных вредных веществ. В таких случаях следует помнить, что вредные вещества могут быть независимого действия (влиять на различные системы организма и оказывать на взаимосвязанные токсические эффекты) и однородного (однаправленного) действия (влиять на одни и те же системы организма и оказывать одинаковый токсический эффект в смеси). Однородным действием обладают, например, смеси углеводородов, сильные минеральные кислоты (азотная, серная и соляная), угарный газ и цементная пыль, аммиак и оксиды азота.

При выделении в воздух нескольких вредных веществ однонаправленного действия концентрациями  $c_i$  должно соблюдаться условие

$$\frac{c_1}{ПДК_1} + \frac{c_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{c_i}{ПДК_i} \leq 1,$$

где  $c_1, c_2, \dots, c_i$  – фактические концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup>;

$ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_i$  – предельно допустимые концентрации этих же веществ, мг/м<sup>3</sup>.

Если результат расчета по последней формуле более единицы, то воздухообмен рассчитывают по коэффициенту кратности воздухообмена  $K$ , равному полученному значению.

### **Расчет естественной общеобменной вентиляции**

Естественная вентиляция зданий и помещений обусловлена тепловым напором (разностью плотностей внутреннего и наружного воздуха) и ветровым напором. Согласно закону Гей-Люссака при нагревании воздуха на 1 К его объем увеличивается на 1/273, а плотность соответственно уменьшается. Следовательно, тепловой напор тем больше, чем значительнее разница

температур наружного и внутреннего воздуха. В соответствии с указаниями СНиП 2.04.05-96 ветровой напор надлежит учитывать только при решении вопросов защиты вентиляционных проемов от задувания. Поэтому естественную вентиляцию рассчитывают, основываясь только на действии теплового напора.

Естественная вентиляция зданий осуществляется посредством удаления загрязненного воздуха с помощью вытяжных труб (шахт) и поступления чистого наружного воздуха через приточные каналы или неплотности в строительных конструкциях.

Разность давлений, Па, на концах вытяжной трубы вычисляется по формуле

$$\Delta H = g \cdot h \cdot (\rho_n - \rho_v),$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $h$  – длина вытяжной трубы, м;

$\rho_n, \rho_v$  – плотность соответственно наружного и внутреннего воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ; при нормальном атмосферном давлении и температуре  $T$  (К) плотность воздуха  $\rho = 353/T$  (здесь 353 – переводной коэффициент).

### **Расчет искусственной общеобменной вентиляции**

В состав системы вентиляции входят: воздухозаборники в виде отверстий в конструкциях ограждений или шахт, оснащенных жалюзийными решетками; устройства для регулировки количества поступающего воздуха (клапаны, заслонки, шиберы); вентилятор, воздуховоды, фильтры, воздухораспределительные устройства и пр.

Для побуждения воздуха в системах вентиляции применяют центробежные и осевые вентиляторы. По создаваемому давлению центробежные вентиляторы делят на три группы: низкого давления – до 1000 Па, среднего давления – от 1000 до 3000 Па и высокого давления – свыше 3000 Па. Давление, создаваемое осевыми вентиляторами, как правило не превышает 350 Па. Существуют крышевые вентиляторы, устанавливаемые на кровлях зданий, которые могут быть как центробежными, так и осевыми.

В зависимости от состава перемещаемой среды вентиляторы изготавливают:

- обычного исполнения – для перемещения неагрессивных сред с температурой менее 423 К, не содержащих липких веществ, при концентрации пыли и других твердых примесей менее  $150 \text{ мг/м}^3$ .
- антикоррозийного исполнения – для перемещения агрессивных сред.
- взрывобезопасного исполнения – для перемещения взрывоопасных смесей.
- пылевые – для перемещения воздуха с содержанием пыли более  $150 \text{ мг/м}^3$ .

Проектирование и расчет системы искусственной (механической) вентиляции выполняют в следующем порядке:

1) Выбирают конфигурацию вентиляционной сети в зависимости от формы помещения и размещения в нем оборудования, разбивают ее на участки.

2) Зная требуемый расход воздуха на отдельных участках сети и задавая скорость движения воздуха (для участков, находящихся рядом с вентилятором, 8...12 м/с, а для отдаленных участков сети 1...4 м/с), определяют диаметр воздуховодов, а также материал для их изготовления.

3) Затем рассчитывают общие потери напора в сети, Па

$$H_c = H_m + H_n,$$

где  $H_m$  – местные потери;

$H_n$  – потери на прямых участках воздуховодов.

4) Зная требуемый воздухообмен, рассчитывают производительность вентиляторов, м<sup>3</sup>/ч, с учетом потерь или подсосов воздуха в вентиляционной сети

$$L_g = \kappa_n \cdot L,$$

где  $\kappa_n$  – поправочный коэффициент на расчетное количество воздуха: при использовании стальных, пластмассовых и асбоцементных воздуховодов из труб длиной до 50 м  $\kappa_n = 1,1$ , в остальных случаях = 1,15.

5) На основе известных величин  $L_b$  и  $H_c$  по номограммам выбирают марку вентилятора с наибольшим значением коэффициента полезного действия (КПД) в зависимости от состава воздушной среды определяют конструктивное исполнение вентилятора.

Центробежные вентиляторы с колесами диаметром 0,5 м и более должны иметь следующий КПД: при лопастях, загнутых назад,  $\geq 0,8$ ; при лопастях, загнутых вперед,  $\geq 0,6$ ; при лопастях, оканчивающихся радиально,  $\geq 0,65$ .

КПД пылевых вентиляторов должен быть не менее 0,55, осевых вентиляторов с колесами диаметром 0,5 м и более – не менее 0,6.

6) Мощность электродвигателя, кВт, для принятого вентилятора рассчитывают по формуле

$$P_e = \frac{k_3 \cdot L_g \cdot H_c}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_g \cdot \eta_n},$$

где  $k_3 = 1,05 \dots 1,5$  – коэффициент запаса;

$\eta_b$  – КПД вентилятора: для центробежных вентиляторов  $\eta_b = 0,4 \dots 0,8$ ;

$\eta_n$  – КПД передачи: для плоскоременной передачи 0,9, клиноременной 0,95, при соединении электродвигателя с вентилятором с помощью муфты 0,98, при непосредственной насадке вентилятора на вал электродвигателя 1.

Для снижения аэродинамического шума вентиляторов необходимо добиваться выполнения следующего условия:

$$\pi \cdot D \cdot n < 1800,$$

где  $D$  – диаметр рабочего колеса вентилятора, м;

$n$  – частота вращения вентилятора, мин<sup>-1</sup>:  $n = A / (60N)$ ;  $A$  – безразмерный параметр, определяемый по номограммам при выбросе вентилятора;

$N$  – номер вентилятора (диаметр его рабочего колеса в дециметрах).

## Расчет местной вентиляции

### *Расчет производительности вытяжного зонта*

Над оборудованием, являющимся источником выделения загрязненного вредными веществами нагретого воздуха (кузнечные горны, горячие ванны или печи и т.п.), чаще всего устанавливают вытяжные зонты. Преимущество такого вида местной вентиляции заключается в том, что нагретый воздух при движении вверх увлекает выделяющиеся пары, газы и аэрозоли, приближая их к зоне всасывания. Площадь зонта должна перекрывать поверхность выделения вредностей, а его рабочий проем – быть максимально приближен к источнику. Скорость движения воздуха в рабочем проеме зонта принимают в пределах 0,15...1,25 м/с, причем большие ее значения при большей токсичности выделяющихся веществ и меньшей площади перекрытия источника. Объем воздуха, отсасываемого зонтом за единицу времени (производительность), м<sup>3</sup>/ч, находят из выражения

$$L = 3600 \cdot a \cdot b \cdot v,$$

где  $a, b$  – размеры рабочего проема (приемной части) зонта, м;  
 $v$  – скорость движения воздуха в приемной части зонта, м/с.

### *Расчет местной вентиляции наплавочных установок*

Выделяющиеся при полуавтоматической и автоматической сварках и наплавке под слоем флюса пыль и вредные газы удаляются через воронкообразные отсосы или отсосы щелевидной формы длиной 250...350 мм. В этом случае производительность местной вытяжной вентиляции, м<sup>3</sup>/ч, рассчитывают по формуле

$$L = k_0 \cdot \sqrt[3]{I},$$

где  $k_0$  – коэффициент, зависящий от вида отсоса: для щелевого 12, для воронкообразного 13,2;  
 $I$  – сварочный ток, А.

### *Расчет местной вентиляции сварочных установок*

Конструктивно такую вентиляцию выполняют по-разному, например, через наклонный жалюзийный зонт с отсосом вредных газов в сторону, минуя зону дыхания сварщика, или через решетчатую поверхность стола с направлением воздушного потока в противоположную от работающего сторону.

Производительность такой вентиляции, м<sup>3</sup>/ч, определяют по числу расходуемых в час электродов и содержанию в них вредных компонентов:

$$L = \frac{10 \cdot M \cdot q \cdot k}{g_{ндк} - g_n},$$

где  $M$  – масса израсходованных электродов, кг/ч;  
 $q$  – содержание вредных компонентов в электродах, г/кг;  
 $k$  – содержание выделяющихся при сгорании электродов в воздух рабочей зоны токсичных веществ, % от  $q$ ;

$g_n$  – концентрация вредного вещества в наружном воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

#### *Расчет местной вентиляции обдирочно-заточных станков*

Источником образования пыли часто служат точильные, шлифовальные и полировочные круги. Их закрывают кожухами, которые через воздуховоды соединяют с вытяжным вентилятором, причем вытяжной воздуховод должен быть направлен в сторону центробежного перемещения пылевых частиц. Эффективность кожуха зависит от количества удаляемого через него воздуха и возрастает при наличии специального козырька в передней части кожуха. Производительность вентиляции, м<sup>3</sup>/ч, заточных, шлифовальных и аналогичных станков зависит от диаметра установленных в них абразивных кругов:

$$L = 1000 \cdot D \cdot A,$$

где  $D$  – диаметр абразивного круга, м;

$A$  – коэффициент, зависящий от диаметра круга: 2 при  $D = 0,25$  м, 1,8 при  $D = 0,25 \dots 0,6$  м и 1,6 при  $D > 0,6$  м.

### **Отопление производственных помещений.**

#### **(Местное, центральное; удельные характеристики отопления)**

Отопление предназначено для поддержания нормируемой температуры воздуха в производственных помещениях в холодное время года. Кроме того, оно способствует лучшей сохранности зданий и оборудования, так как одновременно позволяет регулировать и влажность воздуха. С этой целью сооружают различные системы отопления.

В холодный и переходный периоды года следует отапливать все здания и сооружения, в которых время пребывания людей превышает 2 ч, а также помещения, в которых поддержание температуры необходимо по технологическим условиям.

К системам отопления предъявляют следующие санитарно-гигиенические требования: равномерный прогрев воздуха помещений; возможность регулирования количества выделяемой теплоты и совмещения процессов отопления и вентиляции; отсутствие загрязнения воздуха помещений вредными выделениями и неприятными запахами; пожаро- и взрывобезопасность; удобство в эксплуатации и ремонте.

Отопление производственных помещений по радиусу действия бывает местное и центральное.

Местное отопление устраивают в одном или нескольких смежных помещениях площадью менее 500 м<sup>2</sup>. В системах такого отопления генератор теплоты, нагревательные приборы и теплоотдающие поверхности конструктивно объединены в одном устройстве. Воздух в этих системах чаще всего нагревается за счет использования теплоты сгорающего в печах топлива (дров, угля, торфа и т.д.). Значительно реже в качестве своеобразных отопительных приборов применяются полы или стеновые панели со встроенными электронагревательными элементами, а иногда –

электрорадиаторы. Существуют также воздушные (основной элемент – калорифер) и газовые (при сжигании газа в отопительных приборах) системы местного отопления.

Центральное отопление по виду используемого теплоносителя может быть водяное, паровое, воздушное и комбинированное. Системы центрального отопления включают в себя генератор теплоты, нагревательные приборы, средства передачи теплоносителя (трубопроводы) и средства обеспечения работоспособности (запорная арматура, предохранительные клапаны, манометры и пр.). Как правило, в таких системах теплота вырабатывается за пределами отапливаемых помещений.

Системы отопления должны компенсировать теплопотери через строительные ограждения, расход теплоты на нагрев нагнетаемого холодного воздуха, поступающих извне сырья, машин, оборудования и на технологические нужды.

При отсутствии точных данных о строительном материале, ограждениях, толщине слоев материалов ограждающих конструкций и вследствие этого невозможности определения термического сопротивления стен, потолков, полов, окон и прочих элементов расход теплоты приближенно определяют с помощью удельных характеристик.

Расход теплоты через наружные ограждения зданий, кВт

$$Q_O = 10^{-3} \cdot q_0 \cdot V_H \cdot (T_B - T_H),$$

где  $q_0$  – удельная отопительная характеристика здания, представляющая собой поток теплоты, теряемой  $1 \text{ м}^3$  объема здания по наружному обмеру в единицу времени при разности температур внутреннего и наружного воздуха в  $1 \text{ К}$ , Вт/( $\text{м}^3 \cdot \text{К}$ ): в зависимости от объема и назначения здания  $q_0 = 0,105 \dots 0,7$  Вт/( $\text{м}^3 \cdot \text{К}$ );

$V_H$  – объем здания без подвальной части по наружному обмеру,  $\text{м}^3$ ;

$T_B$  – средняя расчетная температура внутреннего воздуха основных помещений здания, К;

$T_H$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха для проектирования систем отопления, К: для Волгограда 248 К, Кирова 242 К, Москвы 247 К, Санкт-Петербурга 249 К, Ульяновска 244 К, Челябинска 241 К.

Расход теплоты на вентиляцию производственных зданий, кВт

$$Q_B = 10^{-3} \cdot q_B \cdot V_H \cdot (T_B - T_{H.B.}),$$

где  $q_B$  – удельная вентиляционная характеристика, т.е. расход теплоты на вентиляцию  $1 \text{ м}^3$  здания при разности внутренней и наружной температур в  $1 \text{ К}$ , Вт/( $\text{м}^3 \cdot \text{К}$ ): в зависимости от объема и назначения здания  $q_B = 0,17 \dots 1,396$  Вт/( $\text{м}^3 \cdot \text{К}$ );

$T_{H.B.}$  – расчетное значение температуры наружного воздуха для проектирования систем вентиляции, К: для Волгограда 259 К, Вятки 254 К, Москвы 258 К, Санкт-Петербурга 261 К, Ульяновска 255 К, Челябинска 252 К.

Количество теплоты, поглощаемое ввозимыми в помещения материалами, машинами и оборудованием, кВт

$$Q_M = c_M \cdot m \cdot \frac{T_B \cdot T_M}{3600 \cdot t'}$$

где  $c_M$  – массовая теплоемкость материалов или оборудования, кДж/(кг·К): для воды 4,19, зерна 2,1...2,5, железа 0,48, кирпича 0,92, соломы 2,3;

$m$  – масса ввозимых в помещение сырья или оборудования, кг;

$T_M$  – температура ввозимых в помещение материалов, сырья или оборудования, К: для металлов  $T_M = T_H$ , для несыпучих материалов  $T_M = T_H + 10$ , сыпучих материалов  $T_M = T_H + 20$ ;

$t$  – время нагрева материалов, машин или оборудования до температуры помещения, ч.

Количество теплоты, потребляемой на технологические нужды, кВт, определяют через расход горячей воды или пара

$$Q_T = \frac{G_T}{3600} \cdot (i - k_B \cdot i_B),$$

где  $G_T$  – расход на технологические нужды воды или пара, кг/ч: для ремонтных мастерских 100...120, на одну корову 0,625, на теленка 0,083 и т.д.;

$i$  – теплосодержание воды или пара на выходе из котла, кДж/кг;

$k_B$  – коэффициент возврата конденсата или горячей воды, изменяющийся в пределах 0...0,7: в расчетах обычно принимают  $k_B = 0,7$ ;

$i_B$  – теплосодержание возвращаемых в котел конденсата или воды, кДж/кг: в расчетах можно принять равным 270...295 кДж/кг.

Тепловая мощность котельной установки  $P_k$  с учетом расхода теплоты на собственные нужды котельной и потерь в теплосетях принимается на 10...15% больше суммарного расхода теплоты

$$P_k = (1,1 \dots 1,15) \cdot (Q_O + Q_B + Q_M + Q_T).$$

По полученному значению  $P_k$  подбираем тип и марку котла. Рекомендуется устанавливать однотипные котельные агрегаты с одинаковой тепловой мощностью. Число стальных агрегатов должно быть не менее двух и не более четырех, чугунных – не более шести. Следует учитывать, что при выходе из строя одного котла оставшиеся должны обеспечить не менее 75-80% расчетной тепловой мощности котельной установки.

Для непосредственного обогрева помещений применяют нагревательные приборы различных видов и конструкций: радиаторы, чугунные ребристые трубы, конвекторы и пр.

Общую площадь поверхности нагревательных приборов, м<sup>2</sup>, определяют по формуле

$$F = \frac{1000 \cdot (Q_O + Q_B + Q_M + Q_T)}{k[0,5 \cdot (T_r + T_x) - T_B]},$$

где  $k$  – коэффициент теплоотдачи стенок нагревательных приборов, Вт/(м<sup>2</sup>·К): для чугуна 7,4, для стали 8,3;

$T_r$  – температура воды или пара на входе в нагревательный прибор, К; для водных радиаторов низкого давления 338...348, высокого давления 393...398; для паровых радиаторов 383...388;

$T_x$  – температура воды на выходе из нагревательного прибора, К: для водяных радиаторов низкого давления 338...348, для паровых и водяных радиаторов высокого давления 368.

По известному значению  $F$  находят требуемое число секций нагревательных приборов

$$n = \frac{F}{f},$$

где  $f$  – площадь одной секции нагревательного прибора,  $m^2$ , зависящая от его типа: 0,254 у радиаторов М-140; 0,299 у М-140-АО; 0,64 у МЗ-500-1; 0,73 у конвектора плинтусного типа 15КП-1; 1 у чугунной ребристой трубы диаметром 500 мм.

Бесперебойная работа котлов возможна только при достаточном запасе топлива для них. Кроме того, зная требуемое количество альтернативных топливных материалов, можно с помощью экономических показателей определить оптимальный вид топлива.

Потребность в топливе, кг, на отопительный период года ориентировочно можно рассчитать по формуле

$$G_{Tз} = k_H \cdot g \cdot V_B \cdot (T_H - T),$$

где  $k_H = 1,1 \dots 1,2$  – коэффициент запаса на неучтенные потери теплоты;

$g$  – годовой расход условного топлива на повышение температуры 1  $m^3$  воздуха отапливаемого здания на 1 К,  $кг/(m^3 \cdot K)$ : 0,32 для здания с  $V_H 1000 m^3$ ; 0,245 при  $1000 m^3 < V_H 5000 m^3$ ; 0,215 при  $5000 m^3 < V_H 10000 m^3$  и 0,2 при  $V_H > 10000 m^3$ .

Условным принято считать топливо, теплота сгорания 1 кг которого равна 29,3 МДж, или 7000 ккал. Для перевода условного топлива в натуральное применяют поправочные коэффициенты:

- для антрацита 0,97;
- бурого угля 2,33;
- дров среднего качества 5,32;
- мазута 0,7;
- торфа 2,6.

## 2. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ТЕПЛОВЫХ И ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

### 2.1. Расчет средств защиты от тепловых излучений

Передача теплоты излучением происходит в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра распространения электромагнитных волн и зависит, в первую очередь, от температуры источника.

Энергия, излучаемая с поверхности тела в единицу времени по всем направлениям в пределах полусферы на всех длинах волн, называется интегральным или полным тепловым потоком  $Q$  (Вт). Тепловой поток, отнесенный к единице излучающей поверхности, называется плотностью теплового потока излучения  $q$  (Вт/м<sup>2</sup>), которую можно определить по закону Стефана-Больцмана:

$$q = \varepsilon \cdot q_0 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – степень черноты;

$q_0$  – плотность теплового потока излучения абсолютно черного тела (АЧТ), Вт/м<sup>2</sup>;

$\sigma$  – константа Стефана-Больцмана, равная  $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);

$T$  – температура излучающей поверхности тела, К.

Для удобства инженерных расчетов формулу (1) обычно представляют в виде:

$$q = \varepsilon \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4, \quad (2)$$

где  $C_0 = 5,67$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) носит название константа излучения АЧТ.

Приведенные выше формулы характеризуют полусферическое собственное излучение тела  $q_{\text{соб}}$  (Вт/м<sup>2</sup>). Однако в практических расчетах интерес представляет доля полусферического излучения тела (например, расплавленного металла), падающего на какую-нибудь поверхность (окно кабины оператора, лицо рабочего и т.п.). Эта доля характеризуется угловым коэффициентом излучения  $\varphi$ , равным

$$\varphi = \frac{q_{\text{пад}}}{q_{\text{соб}}}, \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что

$$q_{\text{пад}} = \varphi \cdot q_{\text{соб}} = \varphi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4. \quad (4)$$

Величину плотности теплового потока падающего излучения  $q_{\text{пад}}$  в охране труда называют облученностью.

Для ориентировочных расчетов удобно использовать эмпирическую формулу

$$q_{\text{пад}} = q_{\text{соб}} \cdot l^{-n} \cdot \cos \theta, \quad (5)$$

где  $q_{\text{соб}}$  – плотность теплового потока собственного излучения источника (значения для некоторых источников приведены в табл. 1 [1]), кВт/м<sup>2</sup>;

$l$  – расстояние от источника излучения до объекта, м;

$n$  – константа (см. табл. 1);

$\theta$  – угол между нормалью к поверхности источника излучения и линией, соединяющей центры поверхностей источника излучения и объекта (рисунок 2), град.

Таблица 1

Значения  $q_{\text{соб}}$  и  $n$  для некоторых источников теплового излучения (на примере металлургических цехов)

Цех/площадка	Источник теплового излучения	$q_{\text{соб}}$ , кВт/м <sup>2</sup>	$n$
Доменный	Наполняемые чугуном ковши и шлаковые чаши со шлаком	270	2
	Чугун и шлак в канавах во время выпуска	90	2
	Уборка скрапа на канавах	15	2
Конверторный	Футеровка конвертера после выпуска	243	1,5
	Выпускаемая сталь из конвертера	148	1,4
	Пламя и горловина при продувке с дожиганием	24,4	1,1
	Кожух конвертера	3,5	0,6
Электро-сталеплавильный	Сталь, выпускаемая из печи	351	1,9
	загрузочное окно печи: открыто при рафинировании стали	36	1,2
	открыто при заправке порога после загрузки лома	12,7	1,8
	полуоткрыто при скачивании шлака и загрузке раскислителя вручную	18,2	1,2
	Футеровка печи при отведенном своде	9,3	0,8
Разливочная площадка	Изложницы или кристаллизатор МНЛЗ	9,0	1,6
Прокатный	Шлаковая летка и крышки нагревательных колодцев	11,2	1,1
	Окна загрузки и выгрузки методической печи:		
	открыты	29,0	1,4
	полуоткрыты	13,1	1,3
	закрыты	6,2	1,1
	Смотровые окна методических печей	13,6	1,2
	Нагретый металл на рольганге:		
	квадрат 800	18,1	1,4
	лист 3600x10x12000	36,5	1,8
	лист 1500x5x3500	24,0	1,2
рельс, швеллер	5,7	1,2	
Коксохимический	Пламя над четырьмя соседними стояками коксовой батареи	16,3	0,6
	Ячейка батареи при открытой двери	10,0	1,9
Агломерационный	Чашевый охладитель	71,0	0,8
	Транспортер с агломератом	69,3	1,0

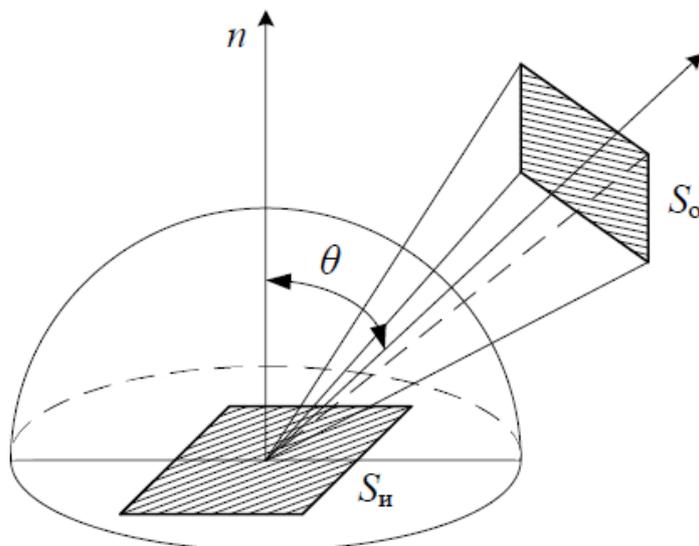


Рис. 2 Взаимное расположение источника излучения (поверхность  $S_n$ ) и объекта (поверхность  $S_o$ )

Тепловой поток падающего на поверхность тела излучения  $Q_{\text{пад}}$  (Вт) частично поглощается, частично отражается, а остаток проходит сквозь тело

$$Q_{\text{пад}} = Q_{\text{погл}} + Q_{\text{отр}} + Q_{\text{проп}}, \quad (6)$$

где  $Q_{\text{погл}}$  – тепловой поток, поглощаемый телом, Вт;  
 $Q_{\text{отр}}$  – тепловой поток, отражаемый телом, Вт;  
 $Q_{\text{проп}}$  – тепловой поток, пропускаемый телом, Вт.

Формулу (6) часто представляют также в виде

$$1 = A + R + D, \quad (7)$$

где  $A = Q_{\text{погл}}/Q_{\text{пад}}$  – поглощательная способность тела;  
 $R = Q_{\text{отр}}/Q_{\text{пад}}$  – отражательная способность тела;  
 $D = Q_{\text{проп}}/Q_{\text{пад}}$  – пропускательная способность тела (среды).

Для АЧТ  $R = D = 0$  и  $A = 1$ , то есть АЧТ поглощает все падающее на него излучение. При наличии теплового излучения на рабочих местах нормируют следующие параметры:

- температура воздуха на рабочих местах, °С;
- интенсивность теплового облучения (плотность теплового потока падающего излучения), Вт/м<sup>2</sup>;
- температура наружных поверхностей оборудования, °С;
- интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС), °С.

ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [2] устанавливает нормативные значения температуры воздуха рабочей зоны в зависимости от категории выполняемой работы для постоянных и временных рабочих мест. Также этот документ устанавливает нормативные значения интенсивности теплового облучения в зависимости от доли открытой поверхности тела человека. Интенсивность теплового облучения от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий, нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов и др.) не должна превышать значений, указанных в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость  $q_{\text{пип}}$  от доли открытой поверхности тела человека S

S	$\geq 0,5$	0,25...0,5	менее 0,25
$q_{\text{пип}}, \text{Вт/м}^2$	35	70	100

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый 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 обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

В целях профилактики тепловых травм температура наружных поверхностей технологического оборудования или ограждающих его устройств не должна превышать 45 °С (в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 [2]). ГОСТ 12.4.123-83 «Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений» [3] устанавливает технические требования к средствам защиты от тепловых излучений (например, экраны) – они должны обеспечивать температуру поверхностей оборудования не выше 35 °С при температуре внутри теплоисточника до 100 °С и не выше 45 °С при температуре внутри теплоисточника выше 100 °С.

В соответствии с СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003» [4] при проектировании теплоизоляции температуру на поверхности тепловой изоляции оборудования следует принимать в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

Температура на поверхности тепловой изоляции оборудования, расположенного в рабочей или обслуживаемой зонах помещений

Температура содержащихся в оборудовании веществ, °С	Температура на поверхности тепловой изоляции, °С
свыше 500 °С	не более 55 °С
от 150 до 500 °С	не более 45 °С
150 °С и ниже	не более 40 °С

Интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС) используют для оценки сочетанного воздействия параметров микроклимата, и нормативные значения ТНС установлены в СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [5].

## 2.2. Средства защиты от теплового излучения

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» [6] все средства теплозащиты можно разделить на индивидуальные и коллективные.

К индивидуальным средствам относятся: специальная одежда, фартуки, обувь, рукавицы, защитные щитки со стеклом и (или) светофильтром.

Область применения некоторых коллективных средств теплозащиты приведены в табл. 4 [1].

Таблица 4

Области применения теплозащитных средств

Метод теплозащиты	Производственное оборудование	Рабочее место	
		открытое	в замкнутом пространстве
Теплоизоляция	+	-	+
Экраны	+	+	+
Естественная вентиляция (аэрация)	-	+	-
Воздушное душирование	-	+	+
Мелкодисперсное распыление воды	-	+	-
Радиационное охлаждение	+	+	+

Эффективность любого теплозащитного устройства  $\mathcal{E}$  (%) оценивается как

$$\mathcal{E} = \frac{q_{\text{пад}} - q_{\text{проп}}}{q_{\text{пад}}} \cdot 100, \quad (8)$$

где  $q_{\text{пад}}$  – плотность теплового потока падающего на теплозащитное устройство (экран) излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$q_{\text{проп}}$  – плотность теплового потока пропущенного теплозащитным устройством (экраном) излучения, Вт/м<sup>2</sup>.

Из формулы (8), зная эффективность теплозащитного устройства, несложно найти плотность теплового потока пропущенного излучения

$$q_{\text{проп}} = q_{\text{пад}} \cdot (1 - 0,01 \cdot \mathcal{E}). \quad (9)$$

По принципу действия экраны подразделяются на:

- теплоотражающие;
- тепло поглощающие;
- теплоотводящие;
- комбинированные.

Деление это условно, так как каждый экран обладает способностью отражать, поглощать и отводить тепло. В зависимости от того какая способность материала экрана наиболее выражена, его относят к той или иной группе.

При конструировании экрана стремятся получить низкую степень черноты обеих его поверхностей (как у теплоотражающих экранов), высокое термическое сопротивление (как у теплопоглощающих экранов) и благоприятные условия для естественного движения воздуха вдоль экрана (для конвективного теплоотвода).

По степени прозрачности экраны делят на:

- непрозрачные (светопропускание менее 40 %);
- полупрозрачные (светопропускание 40...75 %);
- прозрачные (светопропускание более 75 %).

### 2.3. Расчет теплоотражающих экранов

Металлические отражающие экраны устанавливаются перед излучающей поверхностью. Отражающие экраны, как правило, выполняют из: стальных листов, окрашенных белой масляной или алюминиевой краской; алюминиевых или дюралюминиевых листов; закаленных стекол с пленочным покрытием др.

При условии, что на экран передается только лучистое тепло (при величине воздушной прослойки 15...20 мм влияние конвекционной составляющей на экран исключено) температура металлических экранов, применяемых для экранирования различных теплоизлучающих поверхностей (например, кладки печи), определяют по формуле

$$T_{\text{э}} = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{\text{пр}} \cdot \left(\frac{T_{\text{и}}}{100}\right)^4 + \left(\frac{T_{\text{в}}}{100}\right)^4}{1 + \varepsilon_{\text{пр}}}}, \quad (10)$$

где  $T_{\text{э}}$  – температура экрана, К;

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенная степень черноты системы «излучающая поверхность - экран», определяемая по формуле (11);

$T_{\text{и}}$  – температура излучающей поверхности источника. К;

$T_{\text{в}}$  - среднее значение температуры воздуха в рабочей зоне, К.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{и}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{э}}} - 1}, \quad (11)$$

где  $\varepsilon_{и}$ ,  $\varepsilon_{э}$  – степень черноты излучающей поверхности источника и экрана соответственно (см. прил. 1 [2, 3]).

Формула (10) применима при условии, что  $T_{и} > T_{э} > T_{в}$  (температуры излучающей поверхности источника и экрана выше температур окружающих поверхностей оборудования, строительных конструкций и температуры воздуха), то есть поступление тепла на экран извне мало и им можно пренебречь.

### **Пример 1**

Теплоотражающий экран установлен у стенки печи, выполненной из шамотного кирпича. Температура стенки печи 600 К. Проверить соответствует ли температура экрана (из полированного алюминия) требованиям санитарных норм. При расчетах учесть, что температура воздуха в цехе 25°C.

#### *Решение*

1) Определим приведенную степень черноты системы «излучающая поверхность – экран» по формуле (11), предварительно выбрав по прил. 1 степени черноты материалов стенки печи и экрана. Для стенки печи из шамотного кирпича  $\varepsilon_{и} = 0,72$  (выбрано среднее значение из диапазона 0,59...0,85) и  $\varepsilon_{э} = 0,051$  для полированного алюминия (среднее значение для диапазона 0,04...0,062).

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{0,72} + \frac{1}{0,051} - 1} = 0,05.$$

2) Рассчитаем температуру экрана по формуле (10), с учетом температуры воздуха в Кельвинах  $T_{в} = 25 + 273 = 298$  К.

$$T_{э} = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,05 \cdot \left(\frac{600}{100}\right)^4 + \left(\frac{298}{100}\right)^4}{1 + 0,05}} = 342 \text{ К.}$$

3) Сравним полученную температуру с нормативной, переведя Кельвины в градусы Цельсия  $T_{э} = 342 - 273 = 69^\circ\text{C}$ . В соответствии с [2, 3] температура экрана не должна превышать 45 °С. Требования не выполнены.

#### *Вывод*

Экран из полированного алюминия не обеспечит выполнение санитарных норм, При нормативном значении температуры поверхности в 45°C рассчитанная температура экрана составляет 69°C.

### **Задача 1**

Теплоотражающий экран установлен у стенки печи. Проверить соответствует ли температура экрана требованиям санитарных норм. Материал стенки печи и экрана, температура стенки печи и температура воздуха в помещении приведены в табл. 5.

Варианты исходных данных для  
расчета теплозащитного отражающего экрана

№ варианта	Материал стенки печи	Температура задней стенки печи, К	Материал экрана	Температура воздуха в рабочей зоне. К
1	магнезитовый кирпич	625	жесть белая старая	298
2	динасовый кирпич	630	железо свежемобработанное наждаком	300
3	каолин	350	чугун полированный	299
4	кирпич силикатный	370	железо оцинкованное блестящее	308
5	кирпич огнеупорный	350	алюминий шероховатый	301

#### 2.4. Расчет теплопоглощающих экранов

Теплопоглощающие экраны изготавливают из материалов с большим тепловым сопротивлением. В качестве таких экранов используют: металлические заслонки и щиты, футерованные огнеупорным или теплоизоляционным кирпичом; асбестовые щиты на металлической раме, сетке или листе и другие теплоизоляционные конструкции.

Теплопоглощающие экраны можно применять в условиях интенсивных тепловых излучений, высоких температур, механических ударов и запыленной среды.

Для уменьшения тепловых потерь в производственном оборудовании и снижения температуры их кожуха; повышения эффективности теплопоглощающих экранов, а также снижения теплового потока, проходящего через стены ограждения кабин (пультов) управления применяют различные теплопоглощающие материалы.

В качестве примера расчета теплопоглощающего экрана рассмотрим двухслойную стенку нагревательной печи (рисунок 3), в которой огнеупорная футеровка (внутренний слой) выложена из шамотного кирпича, а наружный (теплоизоляционный) слой - каолинового ультралегковеса. Расчет сводится к определению толщины теплоизоляционного слоя  $\delta_2$  (м).

Плотность теплового потока пропущенного в рабочую зону  $q_{\text{проп}}$  (Вт/м<sup>2</sup>) определяется в зависимости от величины суммарного теплового сопротивления и с учетом нормируемого значения температуры наружной поверхности стенки

печи  $T_H$  (К), которая согласно требованиям [4] не должна превышать значений приведенных в табл. 3.

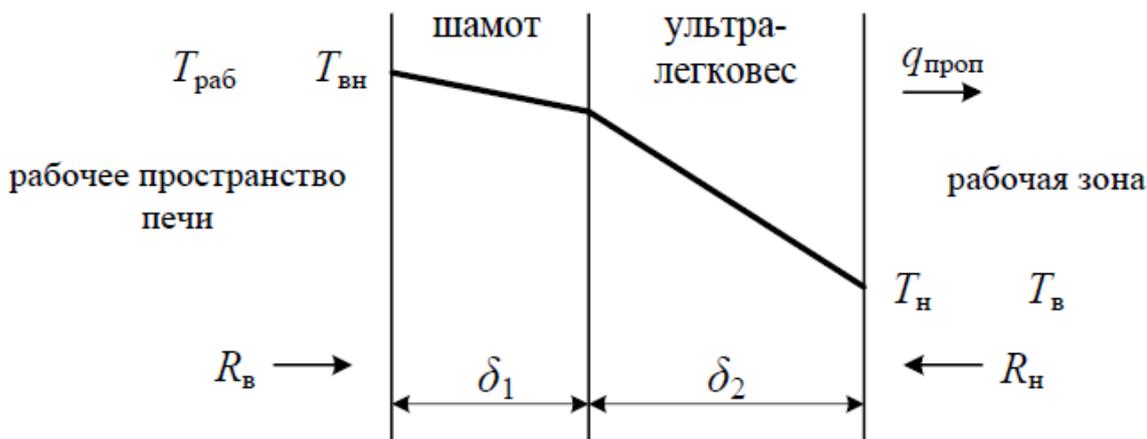


Рис. 3. График изменения температуры стенки нагревательной печи

Суммарное тепловое сопротивление  $R_{\Sigma}$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ) можно определить по формуле

$$R_{\Sigma} = R_{\text{в}} + R_{\text{с}} + R_{\text{н}}, \quad (12)$$

где  $R_{\text{в}}$  — сопротивление тепловосприятию внутренней поверхности стенки печи,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

$R_{\text{с}}$  — тепловое сопротивление стенки печи,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

$R_{\text{н}}$  — сопротивление теплоотдаче наружной поверхности стенки печи,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Считая процесс передачи тепла через стенку печи стационарным, суммарное тепловое сопротивление  $R_{\Sigma}$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ) может быть выражено

$$R_{\Sigma} = \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{раб}}}{q_{\text{проп}}} + \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{н}}}{q_{\text{проп}}} + \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{в}}}{q_{\text{проп}}}, \quad (13)$$

где  $q_{\text{проп}}$  — плотность теплового потока пропущенного излучения в рабочую зону (от наружной поверхности стены печи),  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$T_{\text{вн}}$  — температура внутренней поверхности стенки печи, К;

$T_{\text{раб}}$  — температура рабочего пространства печи, К;

$T_{\text{н}}$  — температура наружной поверхности стенки печи, К;

$T_{\text{в}}$  — температура воздуха рабочей зоны, К.

При температуре наружной поверхности стенки печи 40...55 °С (нормативное значение) можно сделать допущение, что доли теплоотдачи излучением и конвекцией примерно равны. В этом случае плотность теплового потока пропущенного излучения в рабочую зону  $q_{\text{проп}}$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) составит

$$q_{\text{проп}} = 2 \cdot C_0 \cdot \left( \left( \frac{T_{\text{н}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{в}}}{100} \right)^4 \right), \quad (14)$$

где  $C_0$  – константа излучения АЧТ, равная  $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Тепловое сопротивление двухслойной стенки печи  $R_c$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ) может быть выражено

$$R_c = R_{c1} + R_{c2} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \quad (15)$$

где  $R_{c1}$  и  $R_{c2}$  – соответственно тепловое сопротивление внутреннего (огнеупорная футеровка шамотом) и наружного (теплоизоляция из легковеса) слоев стенки печи,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

$\delta_1$  и  $\delta_2$  – соответственно толщина внутреннего (шамот) и наружного (легковес) слоев стенки печи, м;

$\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – соответственно коэффициент теплопроводности материала внутреннего (шамот) и наружного (легковес) слоев стенки печи,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Значения коэффициентов теплопроводности некоторых материалов можно определить из табл. 6.

Таблица 6

Коэффициенты теплопроводности наиболее часто применяемых материалов

Огнеупорный материал	$\lambda_1, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Изоляционный материал	$\lambda_2, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
Динас	$0,815 + 0,00067 \cdot T_{\text{вн}}$	Шамот-легковес	$0,1116 + 0,00016 \cdot T_{\text{н}}$
Шамот	$0,75 + 0,00064 \cdot T_{\text{вн}}$	Диатомовый кирпич	$0,116 + 0,00015 \cdot T_{\text{н}}$
Каолин плотный	$1,75 + 0,00086 \cdot T_{\text{вн}}$	Асбестовый картон	$0,157 + 0,00014 \cdot T_{\text{н}}$
Высокоглиноземистый	$0,84 + 0,00058 \cdot T_{\text{вн}}$	Пеношамот	$0,28 + 0,00023 \cdot T_{\text{н}}$
Магнезит	$6,28 - 0,0027 \cdot T_{\text{вн}}$	Ультралегковес	$0,19 + 0,00012 \cdot T_{\text{н}}$
Огнеупорный бетон	$0,4 + 0,0001 \cdot T_{\text{вн}}$	Пенобетон	$0,098 + 0,000145 \cdot T_{\text{н}}$

Принимая в формуле (13) равенство температур  $T_{\text{вн}} = T_{\text{раб}}$ , получим из формул (13) и (15):

$$\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{н}}}{q_{\text{проп}}}, \quad (16)$$

Откуда

$$\delta_2 = \lambda_2 \cdot \left( \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{н}}}{q_{\text{проп}}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right). \quad (17)$$

Толщину теплоизоляции необходимо увеличивать до ближайшего значения, кратного стандартным размерам (для кирпича  $250 \times 120 \times 65$  мм, для блоков 100, 120, 150, 200, 300, 400 и 600 мм).

## Пример 2

Определить оптимальную толщину теплоизоляции (шамот-легковес) нагревательной печи, если огнеупорная футеровка печи из шамота имеет толщину 0,25 м. Температура внутренней поверхности стенки печи составляет 1073 К. При расчетах учесть, что при наличии тепловых излучений (для категории выполняемых работ II б на непостоянных рабочих местах) температура воздуха рабочей зоны должна быть не выше 21 °С (294 К).

### Решение

1) В зависимости от заданной температуры внутренней поверхности стенки печи  $T_{вн} = 800^\circ\text{C}$  ( $T_{вн} = 1073 - 273 = 800^\circ\text{C}$ ) устанавливаем нормативное значение температуры поверхности теплоизоляции печи по табл. 3. Наружная температура поверхности стенки печи не должна превышать  $55^\circ\text{C}$  (температура содержащихся внутри оборудования веществ свыше  $500^\circ\text{C}$ ). Таким образом,  $T_n = 328 \text{ K}$  ( $T_n = 55 + 273 = 328 \text{ K}$ ).

2) По табл. 6 рассчитаем коэффициенты теплопроводности огнеупорной футеровки печи  $\lambda_1$  (Вт/(м·К)) и материала теплоизоляции  $\lambda_2$  (Вт/(м·К)) при соответствующих температурах:

- коэффициент теплопроводности огнеупорной футеровки из шамота при  $T_{вн} = 1073 \text{ K}$  составит

$$\lambda_1 = 0,75 + 0,00064 \cdot 1073 = 1,44 \text{ Вт/(м·К)}.$$

- коэффициент теплопроводности теплоизоляции из шамота-легковеса при  $T_n = 328 \text{ K}$  составит

$$\lambda_2 = 0,1116 + 0,00016 \cdot 328 = 1,16 \text{ Вт/(м·К)}.$$

3) Определим плотность теплового потока пропущенного излучения в рабочую зону  $q_{\text{проп}}$  (Вт/м<sup>2</sup>) по формуле (14), учитывая температуру воздуха в помещении  $T_b = 294 \text{ K}$  ( $T_b = 21 + 273 = 294 \text{ K}$ )

$$q_{\text{проп}} = 2 \cdot 5,67 \cdot \left( \left( \frac{328}{100} \right)^4 - \left( \frac{294}{100} \right)^4 \right) = 465,3 \text{ Вт/м}^2.$$

4) Рассчитаем оптимальную толщину теплоизоляции печи  $\delta_2$  (м) по формуле (17):

$$\delta_2 = 0,16 \cdot \left( \frac{1073 - 328}{465,3} - \frac{0,25}{1,44} \right) = 0,23 \text{ м}.$$

5) Поскольку кирпич имеет стандартные размеры 250×120×65 мм, полученное значение толщины теплоизоляционного слоя печи следует увеличить до ближайшего значения, кратного стандартным размерам. Конечная толщина теплоизоляции составит 0,24 м (при обкладке кирпичами в два слоя длинной стороной к печи).

### *Вывод*

Оптимальная толщина теплоизоляции из шамота-легковеса составляет 240 мм. При такой толщине будут обеспечены требования по температуре наружной поверхности оборудования и температуре воздуха рабочей зоны.

### *Задача 2*

Определить оптимальную толщину теплоизоляции нагревательной печи. Варианты исходных данных приведены в табл. 7. При расчетах учесть, что при наличии тепловых излучений (для категории выполняемых работ II б на непостоянных рабочих местах) температура воздуха рабочей зоны должна быть не выше 21 °С (294 К).

Таблица 7

Варианты исходных данных для расчета теплопоглощающих экранов

№ варианта	Материал огнеупорной футеровки печи	Температура внутренней поверхности стенки печи $T_{вн}, K$	Толщина огнеупорной футеровки $\delta_1, м$	Материал теплоизоляции печи
1	динас	973	0,25	диатомовый кирпич
2	магнезит	873	0,12	пенобетон (блок)
3	каолин	883	0,25	пеношамот (блок)
4	огнеупорный бетон	1273	0,25	ультралегковес (кирпич)
5	шамот	1173	0,12	пенобетон (блок)

### 3. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

#### 3.1. Основные понятия и определения

В науке и технике часто используют устройства, являющиеся источником ионизирующего излучения (ИИ) (рентгеновские установки, томографы, мониторы персональных компьютеров (ПК), дифрактометры рентгеновские общего назначения (ДРОН), электронные микроскопы и т.д.), представляющие опасность для человека.

Ионизирующими называют излучения, взаимодействие которых с окружающей средой приводит к ее ионизации, то есть образованию электрических зарядов противоположных знаков.

Существуют два вида ионизирующих излучений:

- корпускулярное, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля (альфа-, бета-, нейтронное излучение);
- фотонное – электромагнитное излучение (ЭМИ) с очень малой длиной волны (гамма- и рентгеновское излучение).

Ионизирующие излучения оказывают сильное воздействие на биологический объект. Их действие оценивается дозами излучения, являющимися количественными параметрами, позволяющими оценить степень и форму лучевых поражений организма человека.

Основополагающей дозиметрической величиной является поглощенная доза, показывающая величину энергии ИИ, переданной веществу (живому организму).

Поглощенная доза  $D_{T,R}$  – отношение средней энергии  $dE_R$  (Дж), переданной определенным видом ионизирующего излучения  $R$  органу или ткани  $T$  в элементарном объеме, к массе этого органа или ткани  $dm_T$  (кг) в этом объеме. Единица измерения – Гр (Грей).  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$  (внесистемная единица измерения).

$$D_{T,R} = \frac{dE_R}{dm_T}. \quad (18)$$

Поглощенная доза не отражает биологический эффект облучения.

Для учета различного биологического эффекта облучения разными видами ИИ введена эквивалентная доза.

Эквивалентная доза  $H_T$  – сумма произведений поглощенной дозы в органе или ткани  $T$  на соответствующие взвешивающие коэффициенты  $W_R$  для данных видов излучения  $R$ . Единица измерения – Зв (Зиверт).  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$  (биологический эквивалент рентгена (или рада) – внесистемная единица измерения).

$$H_T = \sum_R (W_R \cdot D_{T,R}), \quad (19)$$

где  $D_{T, R}$  – поглощенная доза в органе или ткани  $T$  (гонады, костный мозг, желудок, легкие, печень, кожа и др.) определенного вида ионизирующего излучения  $R$ , Гр;

$W_R$  – взвешивающий коэффициент для данного вида излучения  $R$  (см. прил. 2), учитывающий относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

Для оценки риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их чувствительности к ИИ используют эффективную дозу.

Эффективная доза  $H_E$  – сумма произведений эквивалентной дозы  $H_T$  в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты  $W_T$ . Единица измерения – Зв (Зиверт).

$$H_E = \sum_T (W_T \cdot H_T), \quad (20)$$

где  $H_T$  – эквивалентная доза в органе или ткани  $T$ , Зв;

$W_T$  – взвешивающий коэффициент для данного вида ткани  $T$  (см. прил. 3), учитывающий различную чувствительность к ИИ разных органов и тканей. Для организма в целом принимается равным 1.

Для рентгеновского и  $\gamma$ -излучения часто применяют так называемую экспозиционную дозу.

Экспозиционная доза  $X$  – отношение полного заряда всех ионов одного знака, созданных в элементарном объеме воздуха в условиях электронного равновесия  $dQ$  (Кл) к массе воздуха  $dm$  (кг) в этом объеме. Единица измерения – Кл/кг.  $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$  (рентген – внесистемная единица измерения).

$$X = \frac{dQ}{dm}. \quad (21)$$

Рентгеновское и  $\gamma$ -излучение образует в среде определенное количество ионов. Так как поглощенная энергия расходуется на ионизацию среды, то для измерения ее необходимо подсчитать число пар ионов, образующихся под действием излучения. Однако измерить число пар ионов непосредственно в глубине тканей живого организма сложно. В связи с этим для количественной характеристики действующего на объект излучения, определяют сначала экспозиционную дозу в воздухе, а затем расчетным путем определяют поглощенную дозу для тканей и органов организма. При облучении организма экспозиционной дозой в 1 Кл/кг ткани организма поглощают 37 Дж/кг энергии рентгеновского или  $\gamma$ -излучения.

При определении действия ИИ на какую-либо среду (особенно при облучении живого организма) необходимо учитывать не только дозу, но и время, за которое она получена. Поэтому введено понятие мощность дозы.

Мощность дозы – приращение соответствующей дозы за единицу времени. Имеет размерность соответствующей дозы (поглощенной, эквивалентной и т.п.), отнесенной к единице времени. Допускается использование различных специальных единиц (например, Зв/час, бэр/мин и др.).

Так, например, мощность экспозиционной дозы  $P_x$  (Кл/(кг·с)):

$$P_x = \frac{dX}{dt}. \quad (22)$$

СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» [7] установлены значения предельно допустимых доз (ПДД) излучения для персонала, непосредственно работающего с источниками ИИ (группа А), персонала, находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б) и населения (табл. 8).

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв.

Одним из наиболее эффективных способов защиты от ИИ является экранирование. Выбор защитного экрана следует производить в зависимости от вида ИИ.

Для защиты от  $\alpha$ -излучения применяют экраны из стекла, плексигласа толщиной в несколько миллиметров. Достаточной защитой от  $\alpha$ -излучения является слой воздуха в несколько сантиметров.

Таблица 8

Основные пределы доз

Нормируемые величины	Персонал (группа А)*	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, мЗв за год:		
в хрусталике глаза	150	15
коже	500	50
кистях и стопах	500	50
*ПДД для персонала группы Б равны % значений для персонала группы А		

В случае  $\beta$ -излучения используют материалы с малой атомной массой (например, алюминий), а чаще комбинированные (со стороны источника – материал с малой, а затем далее от источника применяют материал с большей атомной массой).

Для защиты от нейтронного излучения применяют бериллий, графит и материалы, содержащие водород (парафин, вода). Для защиты от нейтронных потоков с малой энергией широко применяются бор и его соединения. Также для защиты от нейтронов можно использовать бетон.

В случае воздействия  $\gamma$ -излучения и нейтронных потоков применяются комбинированные экраны: смеси тяжелых металлов с водой или водородосодержащими материалами, а также комбинации слоев тяжелых и легких материалов (свинец - вода, свинец - полиэтилен, железо - вода и др. пары и комбинации).

Фотонные излучения обладают наименьшей ионизирующей способностью и наибольшей проникающей способностью. Обеспечить полную защиту от фотонных излучений не представляется возможным. Защитные устройства позволяют лишь ослабить их интенсивность в любое число раз. Для защиты от  $\gamma$ -излучений применяют материалы с большой атомной массой и высокой плотностью (свинец, вольфрам), а также более легкие материалы, являющиеся менее дефицитными и более дешевыми (сталь, чугун, сплавы меди). Смотровые системы изготавливают из специальных прозрачных материалов, например, свинцового стекла. Стационарные экраны выполняются из бетона и баритобетона. В качестве защищающего от  $\gamma$ -лучей материала применяют также свинцовую резину.

Эффективность экранирования принято оценивать по кратности ослабления ИИ. Кратность ослабления излучения  $K$  показывает во сколько раз необходимо уменьшить значение дозы ИИ (или мощности дозы), чтобы получить предельно допустимые величины.

Так, например, кратность ослабления (для эффективной дозы) составит

$$K = \frac{H_E}{\text{ПДД}}, \quad (23)$$

где  $H_E$  – эффективная доза излучения, Зв;

ПДД – предельно допустимая доза излучения (см. табл. 8), Зв.

### **3.2. Расчет толщины защитного экрана при работе с рентгеновской трубкой**

При работе с рентгеновской трубкой для защиты персонала от ИИ устанавливают различные экраны (свинец, бетон, сталь и др.). Расчет экрана проводится по свинцовому эквиваленту.

Формула (23) для определения эффективности экранирования (кратности ослабления) рентгеновского излучения  $K$  в случае работы с рентгеновской трубкой имеет вид [8]

$$K = \frac{K_R \cdot W \cdot m}{R^2 \cdot \lambda \cdot \text{ПДД}}, \quad (24)$$

где  $K_R$  – радиационный выход – отношение мощности воздушной кермы в первичном пучке рентгеновского излучения на расстоянии 1 м от фокуса трубки, умноженной на квадрат этого расстояния, к силе анодного тока.

Единица измерения – (мГр·м<sup>2</sup>)/(мА·мин). К<sub>R</sub> может быть определен по табл. 9;

W – рабочая нагрузка рентгеновской трубки, (мА·мин)/нед.;

m – стандартизованная продолжительность работы рентгеновского трубки в течение года при односменной работе персонала группы А, m = 50 нед. (при 30-часовой рабочей неделе);

R – расстояние от анода рентгеновской трубки до облучаемого объекта, м;

λ – коэффициент перехода от величины эффективной дозы к значению поглощенной дозы в воздухе, мГр/мЗв. Для расчета радиационной защиты с учетом двукратного запаса по кратности ослабления рентгеновского излучения значение Д принимается равным 1;

ПДД – предельно допустимая годовая эффективная доза, мЗв (см. табл. 8).

Таблица 9

Значения радиационного выхода К<sub>r</sub>

Анодное напряжение	50	75	100	150	200	250
Радиационный выход К <sub>R</sub> (мГр·м <sup>2</sup> )/(мА·мин)	3,0	6,3	9	18	25	20

Толщина защитного экрана из свинца (свинцовый эквивалент) d (мм), экранирующего анод рентгеновской трубки, определяется в зависимости от напряжения на рентгеновской трубке U<sub>max</sub>, (кВ) и показателя кратности ослабления рентгеновского излучения К по прил. 4. Свинцовые эквиваленты строительных материалов, используемые для защиты от рентгеновского излучения (сталь, бетон, кирпич и др.) приведены в прил. 5.

### Пример 3

Рассчитать требуемую кратность ослабления мощности дозы рентгеновского излучения и определить толщину экрана из свинца и альтернативного строительного материала, обеспечивающего уменьшение мощности дозы рентгеновского излучения до нормативных значений. Максимальное анодное напряжение на рентгеновской трубке составляет 100 кВ при рабочей нагрузке 200 (мА·мин)/нед. Оператор, обслуживающий рентгеновскую трубку, находится на расстоянии 8 м.

#### Решение

1) По заданной величине максимального анодного напряжения U<sub>max</sub> = 100 кВ по табл. 9 определим величину радиационного выхода К<sub>R</sub>=9 (мГр·м<sup>2</sup>)/(мА·мин).

2) По табл. 8 определим годовую эффективную дозу ПДД = 20 мЗв для оператора (персонал группы А).

3) По формуле (24) рассчитаем требуемую кратность ослабления мощности дозы излучения К

$$K = \frac{9 \cdot 200 \cdot 50}{8^2 \cdot 1 \cdot 20} = 70.$$

4) Определим толщину защитного экрана из свинца (свинцового эквивалента)  $d$  (мм), обеспечивающего уменьшение мощности дозы рентгеновского излучения до нормативного значения, по кратности ослабления рентгеновского излучения  $AG=70$  и напряжению на рентгеновской трубке  $U_{\max}=100\text{кВ}$ , по прил. 4 (при отсутствии в таблице необходимой кратности ослабления, выбирают ближайшее большее значение). Толщина защиты из свинца составит 0,68 мм.

5) По прил. 5 в качестве альтернативных строительных материалов можно предложить (выбирая с запасом): сталь 6 мм (при свинцовом эквиваленте 1 мм), бетон 85 мм (при свинцовом эквиваленте 1 мм), кирпич полнотелый 120 мм (при свинцовом эквиваленте 1 мм), пенобетон 220 мм (при свинцовом эквиваленте 0,8 мм) и тяжелый бетон 24 мм (при свинцовом эквиваленте 1 мм).

#### *Вывод*

Требуемая кратность ослабления мощности дозы рентгеновского излучения составляет 70. Толщина экрана из свинца, который обеспечит необходимую кратность 0,68 мм. Из альтернативных материалов можно порекомендовать: сталь 6 мм, бетон 85 мм, кирпич полнотелый 120 мм, пенобетон 220 мм или тяжелый бетон 24 мм.

### **Задача 3**

Рассчитать требуемую кратность ослабления мощности дозы рентгеновского излучения и определить толщину экрана из свинца, обеспечивающего уменьшение мощности дозы рентгеновского излучения до нормативных значений. Исходные данные приведены в табл. 10.

Таблица 10

Варианты исходных данных к задаче 3

№ варианта	Максимальное анодное напряжение на рентгеновской трубке $U_{\max}$ , кВ	Рабочая нагрузка рентгеновской трубки $W$ , (мА·мин)/нед.	Расстояние до объекта $R$ , м
2	75	400	8
3	150	500	8
4	50	1000	7
5	200	100	6
6	250	300	8

### 3.3. Оценка эффективности защитных мероприятий от излучений монитора с электронно-лучевой трубкой

Напряжение на пластинах развертки мониторов с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ)  $U > 1$  кВ, при этом образуется мягкое рентгеновское излучение при выбивании ускоренным пучком электронов вторичных электронов из анода. Кроме того, электроны, эмитированные катодом и ускоренные вторым анодом, ударяясь о линзу кинескопа, создают тормозное излучение.

Для мягкого рентгеновского излучения (в диапазоне от  $10^{-3}$  до  $10^2$  МэВ) мощность экспозиционной дозы  $P_x$  (Р/с) может быть определена по формуле

$$P_x = 7 \cdot \frac{I}{R^2} \cdot 10^{-5 - \left(\frac{\mu \cdot d}{2,3}\right)}, \quad (25)$$

где  $I$  – сила анодного тока в ЭЛТ, мА;  
 $R$  – расстояние от ЭЛТ до облучаемого объекта, см;  
 $\mu$  – коэффициент линейного поглощения материала экрана,  $\text{см}^{-1}$ ;  
 $d$  – толщина экрана (стекла ЭЛТ), см.

Величину  $\mu$  в диапазоне энергии  $E \leq 10^{-2}$  МэВ можно вычислить по формуле

$$\mu = 24,6 \cdot \rho, \quad (26)$$

где  $\rho$  – плотность материала экрана,  $\text{г/см}^3$ .

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [9] мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса видеодисплейного терминала (ВДТ) (на электронно-лучевой трубке) при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать 100 мкР/час.

#### Пример 4

Проверить обеспечивает ли защиту от ионизирующего излучения экран (стекло ЭЛТ) толщиной 2,5 мм, если сила анодного тока ЭЛТ составляет 2 мА. При расчетах принять плотность стекла  $\rho_{\text{стекла}} = 2,5 \text{ г/см}^3$ .

*Решение*

1) Определим коэффициент линейного поглощения материала экрана  $\mu$  ( $\text{см}^{-1}$ ) по формуле (26)

$$\mu = 24,6 \cdot 2,5 = 61,5 \text{ см}^{-1}.$$

2) По формуле (25) определяем мощность экспозиционной дозы  $P_x$  (Р/с) на расстоянии 0,05 м (в соответствии с [9]) от экрана и корпуса ВДТ (на электроннолучевой трубке)

$$P_x = 7 \cdot \frac{7}{5^2} \cdot 10^{-5 - \left(\frac{61,5 \cdot 0,25}{2,3}\right)} = 1,16 \cdot 10^{-12} \text{ Р/с.}$$

3) Переведем полученную мощность дозы из Р/с в мкР/ч и сравнить с ПДД = 100 мкР/ч (в соответствии с [9]).  $P_x = 1,16 \cdot 10^{-12} \text{ Р/с} = 0,004 \text{ мкР/ч}$ . Полученное значение меньше нормативного во много раз, это означает, что стекло достаточно хорошо обеспечивает защиту от рентгеновского излучения.

*Вывод*

Стекло обеспечивает хорошую защиту от рентгеновского излучения.

#### **Задача 4**

Проверить обеспечивает ли защиту от ионизирующего излучения экран (стекло ЭЛТ) толщиной  $d$  (мм), если сила анодного тока ЭЛТ составляет  $I$  (мА). При расчетах принять плотность стекла  $\rho_{\text{стекла}} = 2,5 \text{ г/см}^3$ . Варианты заданий приведены в табл. 11.

В ответе указать мощность экспозиционной дозы  $P_x$  (мкР/ч) и соответствие нормативу (да/нет).

Таблица 11

Варианты исходных данных к задаче 4

№ варианта	Сила анодного тока $I$ , мА	Толщина экрана $d$ , мм
1	2,5	2,6
2	4,0	2,4
3	1,0	2,0
4	2,5	2,4
5	3,0	2,5

## 4. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

### 4.1. Основные понятия и определения

Вибрация, возникающая при работе машин, механизмов и их элементов, носит характер сложного (иногда импульсного) колебания. Сложный периодический колебательный процесс можно представить в виде суммы гармонических функций

$$x(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cdot \cos\left(2\pi i \frac{t}{T} - \varphi_i\right), \quad (27)$$

где  $A_i, \varphi_i$  – амплитуда и фаза  $i$ -й гармоники;  
 $t$  – время;  
 $T$  – период колебаний.

Вибросмещение на основной (несущей) частоте

$$x(t) = A \sin(\omega \cdot t - \varphi), \quad (28)$$

где  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$  – угловая частота колебаний.

Виброскорость и виброускорение – соответствуют первой и второй производным по времени вибросмещения. Амплитудные значения виброскорости и виброускорения соответственно равны

$$V_m = 2\pi f_0 A; \quad a_m = 4\pi^2 f_0^2 A. \quad (29)$$

Для оценки воздействия вибраций на организм человека проводят спектральный анализ, рассматривая зависимости средних квадратических значений амплитуд виброскоростей и виброускорений от частоты. Для удобства построения спектрограмм вибрации весь интересующий интервал делят на октавные или третьоктавные полосы частот.

Октавная полоса частот (октава), это полоса частот, верхняя  $f_v$  и нижняя  $f_n$  частоты которой связаны соотношением  $f_v = 2 \cdot f_n$ .

Третьоктавная полоса частот (третьоктава) – такая полоса частот, верхняя и нижняя частоты которой связаны соотношением  $f_v = \sqrt[3]{2} \cdot f_n$ . Средняя частота полосы  $f_{cp}$  определяется как среднегеометрическая из значений граничных частот. Ввиду широких пределов изменения параметров вибраций используют логарифмические уровни (в дБ) виброскорости  $L_v$  и виброускорения  $L_a$

$$L_v = 20 \lg \left(\frac{V}{V_0}\right); \quad L_a = 20 \lg \left(\frac{a}{a_0}\right), \quad (30)$$

где  $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  м/с и  $a_0 = 10^{-6}$  м/с<sup>2</sup> – опорные значения виброскорости и виброускорения.

Гигиеническую оценку вибрации, воздействующей на человека в производственных условиях, необходимо производить согласно ГОСТ 12.1.012-2004 [12] и СИ 2.2.4/2.1.8.566-96 [13].

По способу передачи на человека вибрация подразделяется на:

- общую, передающуюся через опорные поверхности сидящего или стоящего человека;
- локальную, передающуюся через руки человека.

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратичные значения виброскорости  $V$  или виброускорения  $a$  и их логарифмические уровни – для локальной вибрации в октавных полосах частот, а для общей вибрации в октавных или третьоктавных полосах частот.

Общую вибрацию в зависимости от условий труда подразделяют на три категории:

- 1 – транспортная;
- 2 – транспортно-технологическая;
- 3 – технологическая [12].

В табл. 12 приведены предельно допустимые параметры вибрации рабочих мест категории 3 - технологической типа «а», воздействующей на операторов стационарных машин и оборудования или передающейся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Таблица 12

Допустимые значения вибрации рабочих мест категории «3 а»

Средне-геометрическая частота, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с <sup>2</sup>		дБ		м/с·10 <sup>-2</sup>		дБ	
	третьоктава	октава	третьоктава	октава	третьоктава	октава	третьоктава	октава
1,6	0,089	0,14	99	103	0,89	1,30	105	108
2,0	0,079		98		0,63		102	
2,5	0,070		97		0,45		99	
3,15	0,063	0,10	96	100	0,32	0,45	96	99
4,0	0,056		95		0,22		93	
5,0	0,056		95		0,18		91	
6,3	0,056	0,10	95	100	0,14	0,22	89	93
8,0	0,056		95		0,11		87	
10,0	0,070		97		0,11		87	
12,5	0,089	0,20	99	106	0,11	0,20	87	92
16,0	0,110		101		0,11		87	
20,0	0,140		103		0,11		87	
25,0	0,180	0,40	105	112	0,11	0,20	87	92
31,5	0,220		107		0,11		87	
40,0	0,280		109		0,11		87	
50,0	0,350	0,79	111	118	0,11	0,20	87	92
63,0	0,450		113		0,11		87	
80,0	0,560		115		0,11		87	

В помещениях для работников умственного труда предельно допустимые значения вибрации на рабочих местах категории 3 типа «в» приведены в табл. 13.

Таблица 13

Допустимые значения вибрации рабочих мест категории «3 в»

Среднегеометрическая частота, Гц	Виброускорение				Виброскорость			
	м/с <sup>2</sup>		дБ		м/с·10 <sup>-2</sup>		дБ	
	третьоктава	октава	третьоктава	октава	третьоктава	октава	третьоктава	октава
1,6	0,0130	0,020	82		0,130	0,18	88	91
2,0	0,0110		81		0,089		85	
2,5	0,0100		80		0,063		82	
3,15	0,0089	0,014	79		0,045	0,063	79	82
4,0	0,0079		78		0,032		76	
5,0	0,0079		78		0,025		74	
6,3	0,0079	0,014	78		0,020	0,032	72	76
8,0	0,0079		78		0,016		70	
10,0	0,0100		80		0,016		70	
12,5	0,0130	0,028	82		0,016	0,028	70	75
16,0	0,0160		84		0,016		70	
20,0	0,0200		86		0,016		70	
25,0	0,0250	0,056	88		0,016	0,028	70	75
31,5	0,0320		90		0,016		70	
40,0	0,0400		92		0,016		70	
50,0	0,0500	0,11	94		0,016	0,028	70	75
63,0	0,0630		96		0,016		70	
80,0	0,0790		98		0,016		70	

Вибрация, удовлетворяющая гигиеническим нормам, ни в одной из октавных (или третьоктавных) полос не должна превышать приведенные значения.

Нормы вибрации установлены для производственных помещений при длительности воздействия на человека 8 ч.

Для снижения воздействия вибрации оборудования до нормируемых значений применяют следующие методы виброзащиты: виброизоляция, динамическое гашение колебаний, демпфирование и др. Одной из наиболее эффективных мер является виброизоляция. Этот метод реализуется путем введения дополнительной упругой связи между источником вибрации и защищаемым объектом.

Степень реализации виброзащиты можно охарактеризовать коэффициентом динамичности (коэффициентом передачи)  $\alpha$ . Зависимость  $\alpha$  от частотного отношения  $\eta$  имеет вид

$$\alpha = |1 - \eta^2|^{-1}, \quad (31)$$

где  $\eta = \omega_1/\omega_0$ ;  $\omega_1$ ,  $\omega_0$  – угловые частоты колебаний соответственно вынуждающей силы и собственных колебаний агрегата.

Графически зависимость (31) представлена на рис. 4.

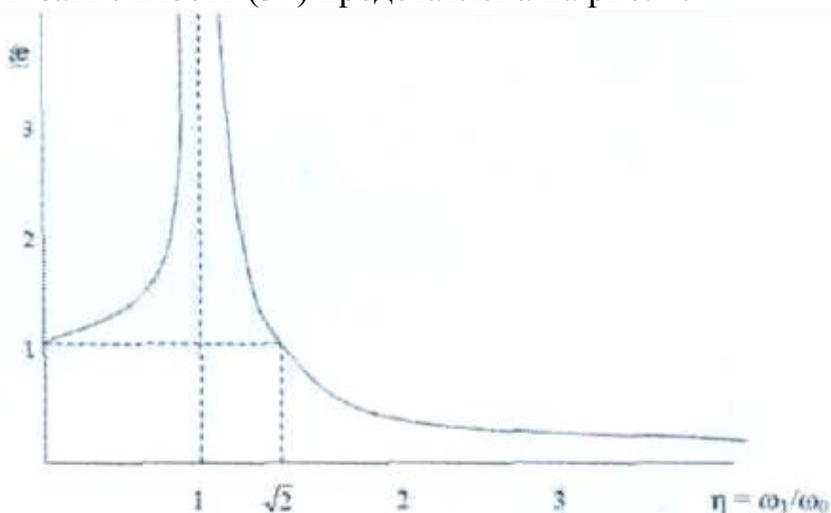


Рис. 4 Зависимость коэффициента динамичности от частотного отношения

Из графика рис. 4 следует:

- 1) если  $\omega_1 < \omega_0$ , то  $\alpha \rightarrow 1$ , т.е. вынуждающая сила действует как статическая, полностью передаваясь основанию;
- 2) при  $\omega_1 = \omega_0$  имеет место резонанс, который может стать причиной аварийной или предаварийной ситуации;
- 3) при  $\omega_1 \geq \sqrt{2} \cdot \omega_0$ ;  $\alpha \leq 1$  и эффективность виброизолятора возрастает с увеличением  $\eta$ . Поэтому условием хорошей работы виброизоляторов является  $\omega_1/\omega_0 > \sqrt{2}$ . Опытным путем установлено, что при  $\eta = 2,5 \dots 5$  эффективность виброизоляторов составляет 81...96 %.

Приблизительно эффективность виброизоляторов  $U$  (%) определяют через коэффициент динамичности  $\alpha$  по формуле

$$U = 100 \cdot (1 - \alpha). \quad (32)$$

ослабление уровня вибрации  $\Delta L$  (дБ) выражают через коэффициент динамичности  $\alpha$  по формуле

$$\Delta L = 20 \cdot \log \frac{1}{\alpha}. \quad (33)$$

Серийно выпускаемые виброизоляторы классифицируются по виду материала упругого элемента или способу введения демпфирования. Используются следующие виды виброизоляторов:

- типа упругих прокладок из резины, дерева, войлока (при скоростях вращения оборудования  $n > 1800$  об/мин). Такие виброизоляторы имеют форму ребристых и дырчатых плит, их форма допускает свободное растягивание в стороны. Недостатком резиновых виброизоляторов является их недолговечность. Резина становится жестче со временем и такие виброизоляторы через 5-7 лет необходимо заменять. Срок службы виброизоляторов из войлока еще меньше: 2-3 года, поскольку со временем он слеживается. Наиболее долговечным виброизолирующим материалом является пробка.

- в виде стальных пружин (при  $n < 1800$  об/мин и неблагоприятных условий эксплуатации (высокие температуры, наличие масел, паров, кислот, щелочей)). Пружины дольше сохраняют упругие свойства во времени. Они долговечны, малогабаритны, хорошо противостоят действию высоких температур, при антикоррозионных покрытиях не боятся сырости.
- на практике (в промышленности) используют комбинированные виброизоляторы, когда в резиновую втулку вставляется пружина.

## 4.2. Расчет резиновых виброизоляторов

Область применения резиновых виброизоляторов – виброизоляция оборудования, имеющего скорость вращения  $n > 1800$  об/мин при отсутствии агрессивных сред. Расчет сводится к определению параметров комплекта виброизоляторов технологического оборудования: материал упругого элемента, толщина виброизолятора, форма горизонтального сечения, диаметр (или стороны) одного виброизолятора и их количество.

### *Методика расчета резиновых виброизоляторов*

1) Определяют частоту колебаний вынуждающей силы  $f_1$  (Гц) источника вибраций по известному значению скорости вращения  $n$ :  $f_1 = n/60$  и частоту собственных колебаний  $f_0$  (Гц) по заданному или вычисленному значению частного отношения  $\eta$ :  $f_0 = f_1/\eta$ .

2) Статическая осадка виброизолятора  $x_{ст}$  (м) под действием нагрузки массой  $m$  (кг) определяется по формуле

$$x_{ст} = \frac{g}{\omega_0^2}, \quad (34)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\omega_0 = 2\pi f_0$ , с<sup>-1</sup>.

3) Для выбранного материала упругого элемента виброизолятора определяют отношение динамического модуля упругости материала,  $E$  (Н/м<sup>2</sup>) к допустимой нагрузке на сжатие материала  $\sigma$  (Н/м<sup>2</sup>) (например, из табл. 14) и рассчитывают его толщину  $h$  (м)

Таблица 14

Упругие свойства виброизолирующих материалов

Материал	$E, \text{Н/м}^2 \cdot 10^5$	$\sigma, \text{Н/м}^2 \cdot 10^5$	$E/\sigma$
Резина марки 112А	43	1,72	25
Резиновые ребристые плиты	49	0,98	50
Резина средней мягкости	200...250	3...4	64
Резина мягкая	50	0,80	63
Войлок мягкий	20	0,25	80
Резина губчатая	30	0,30	100

$$h = x_{\text{ст}} \frac{E}{\sigma}. \quad (35)$$

4) Общую площадь системы виброизоляторов определяют по формуле

$$S = \frac{m \cdot g}{\sigma}. \quad (36)$$

5) Исходя из площади и конфигурации оборудования – источника вибраций, определяют минимально необходимое число виброизоляторов  $N$ . Тогда площадь одного виброизолятора составит  $S_1 = S/N$ .

6) Толщина упругого элемента  $h$  должна удовлетворять двум условиям:

а) отсутствие условия возникновения резонансных явлений в упругом элементе:

$$h < 0,5 \cdot \lambda, \quad (37)$$

где  $\lambda = \tilde{c}/f_1$  – длина волны колебаний в материале упругого элемента, м,

$\tilde{c}/$  – скорость распространения колебаний в упругом элементе; для материалов, представленных в табл. 14, изменяется в пределах от 40 до 60 м/с.

б) отсутствие сдвига в горизонтальной плоскости в материале упругого элемента:

$$h < a/4, \quad (38)$$

где  $a$  – меньшая сторона (диаметр) одного виброизолятора, м.

Если параметры упругого элемента виброизоляторов с выбранным материалом оказываются неприемлемыми, то выбирается другой материал, либо изменяется число виброизоляторов.

### Пример 1

Производственное оборудование массой  $m = 450$  кг и скоростью вращения  $n = 2448$  об/мин создает вибрацию, заданную виброускорением  $a = 0,190$  м/с<sup>2</sup> в третьоктавном спектре, в помещении управления (рабочие места категории «3 в»). Определить геометрические размеры виброизоляторов (высоту и диаметр), которые необходимо установить под оборудование для снижения вибрации до нормативных значений, если материал виброизолятора – резина марки 112А, количество – 4 шт, круглого сечения.

#### Решение

1) Определим частоту колебаний вынуждающей силы  $f_1$  (Гц) источника вибраций по известному значению скорости вращения  $n = 2448$  об/мин:  $f_1 = 2448/60 = 40,8$  Гц. Убедимся в необходимости применения виброизоляторов, установив нормативное значение параметра и сравнив его с фактическим значением. По табл. 13 (для рабочих мест категории «3 в») с учетом  $f_{\text{ср}} \approx f_1$  для третьоктавного спектра  $a_n = 0,04$  м/с<sup>2</sup>. Фактическое значение виброускорения по условию задачи составляет  $0,19$  м/с<sup>2</sup>, что выше нормативного и означает, что установка виброизоляторов необходима.

Установим частоту собственных колебаний  $f_0$  (Гц), для чего вычислим значение частотного отношения  $\eta$  через коэффициент передачи и необходимую эффективность. Рассчитаем необходимую эффективность виброизолятора, зная фактическое и нормативное значения виброускорения

$$U = \frac{a_{\phi} - a_n}{a_{\phi}} \cdot 100 = \frac{0,19 - 0,04}{0,19} \cdot 100 = 78,95\%.$$

(ослабление уровня  $\Delta L$  можно найти вычитая из фактического значения нормативное  $\Delta L = L_{\phi} - L_n$ , далее коэффициент передачи находят по формуле (33)). По формуле (32) определим коэффициент передачи

$$\alpha = 1 - \frac{U}{100} = 1 - \frac{78,95}{100} = 0,211.$$

Частотное соотношение по формуле (31)

$$\eta = \sqrt{\frac{1}{\alpha} + 1} = \sqrt{\frac{1}{0,211} + 1} = 2,4.$$

Тогда  $f_0 = \frac{f_1}{\eta} = \frac{40,8}{2,4} = 17$  Гц.

2) Рассчитаем статическую осадку виброизолятора  $x_{ст}$  (м) по формуле (34)

$$x_{ст} = \frac{9,8}{(2 \cdot 3,14 \cdot 17)^2} = 8,6 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

3) По таблице 14 определим упругие свойства заданного материала виброизолятора. Для резины марки 112А динамический модуль упругости материала,  $E = 43 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, допустимая нагрузка на сжатие материала  $\sigma = 1,72 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>. Рассчитаем толщину виброизолятора  $h$  (м) по формуле (35)

$$h = 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot 25 = 2,15 \cdot 10^{-2} = 2,15 \text{ см.}$$

4) По формуле (36) рассчитаем общую площадь системы виброизоляторов

$$S = \frac{450 \cdot 9,8}{1,72 \cdot 10^5} = 0,026 \text{ м}^2.$$

5) Рассчитаем площадь одного виброизолятора

$$S_1 = \frac{0,026}{4} = 0,0065 \text{ м}^2.$$

6) Проверим выполнение условий для толщины упругого элемента  $h$  (м). По формуле (37) проверим отсутствие условия возникновения резонансных явлений в упругом элементе  $2,15 \cdot 10^{-2} < 0,5 \cdot 50 / 40,8$ , т.е.  $0,0215 < 0,613$ ,

следовательно первое условие выполняется. Проверим отсутствие сдвига в горизонтальной плоскости в материале упругого элемента по формуле (38), предварительно определив диаметр одного виброизолятора из формулы площади круга

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}.$$

$$d = 0,091 \text{ м}, 2,15 \cdot 10^{-2} < 0,091/4, \text{ т.е. } 0,0215 < 0,0228.$$

Следовательно оба условия выполняются, и данный виброизолятор подходит.

#### *Вывод*

В результате расчета получены следующие геометрические размеры четырех виброизоляторов из резины марки 112 А: при круглой форме сечения диаметр виброизолятора  $d = 0,091$  м, высота виброизолятора  $h = 0,0215$  м.

#### **Задача 1**

Производственное оборудование массой  $m$  и скоростью вращения  $n$  создает вибрацию, заданную одним из параметров  $a$ ,  $V$  или  $L_v$  в третьоктавном спектре, как в производственном помещении (рабочие места категории «3 а»), так и в помещении управления (рабочие места категории «3 в»). Определить геометрические размеры виброизоляторов, которые необходимо установить под оборудование для снижения вибрации до нормативных значений, при известном материале виброизоляторов, количестве и форме их сечения.

Варианты исходных данных представлены в табл.15.

Таблица 15

Варианты исходных данных к задаче 1

№ варианта	$m$ , кг	$n$ , об/мин	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$V$ , м/с · 10 <sup>-2</sup>	$L_v$ , дБ	Тип помещения*	Материал виброизолятора	$N$ , шт.	Форма сечения
1	400	3360	-	-	108,0	П	резина марки 112А	2	круг
2	1000	4320	-	0,08	-	У	резиновые ребристые плиты	4	квадрат
3	160	3600	2,40	-	-	П	резина марки 112А	4	квадрат
4	300	2352	-	-	80	У	войлок	2	круг
5	350	2950	-	0,50	-	П	резина губчатая	2	квадрат

\* Тип помещения: П - производственное помещение; У - помещение управления.

### **4.3. Расчет пружинных виброизоляторов**

Цель расчета – определить следующие параметры пружинных виброизоляторов: материал и количество виброизоляторов, диаметр и число витков каждого из них для снижения вибраций на рабочих местах до нормативных значений.

### **Методика расчета пружинных виброизоляторов**

1) Определяют частоту колебаний вынуждающей силы  $f_1$  (Гц) источника вибраций по известному значению скорости вращения  $n$ :  $f_1 = n/60$  и частоту собственных колебаний  $f_0$  (Гц) по заданному или вычисленному значению частного отношения  $\eta$ :  $f_0 = f_1/\eta$ .

2) Необходимую общую жесткость комплекта виброизоляторов в вертикальном направлении  $c_0$  (Н/м) определяют в соответствии с известным соотношением  $\omega_0 = \sqrt{c_0/m}$  по формуле

$$c_0 = m \cdot \omega_0^2, \quad (39)$$

а жесткость одного из  $N$  виброизоляторов, расположенных симметрично относительно вертикальной оси, проведенной через центр масс:  $c_1 = c_0/N$ .

3) Амплитуду вертикальных колебаний объекта  $x_0$  (м) для гармонической возмущающей силы рассчитывают по формуле

$$x_0 = \frac{m \cdot g}{m \cdot \omega_1^2 - c_0}, \quad (40)$$

4) Максимальную рабочую нагрузку на одну пружину  $P_1$  (Н) определяют по формуле

$$P_1 = P_{ст1} + k_1 \cdot P_{дин1}, \quad (41)$$

где  $P_{ст1} = mg/N$  – статическая нагрузка на одну пружину, Н;

$P_{дин1} = x_0 c_1$  – динамическая нагрузка на одну пружину в рабочем режиме изолируемого объекта, Н;

$k_1 = 1,5$  – коэффициент, учитывающий усталость материала пружины.

5) Диаметр проволоки пружины  $d$  (мм) может изменяться в широких пределах (3...40 мм) его определяют по формуле

$$d \geq 1,6 \cdot \sqrt{P_1 \cdot v \cdot k / \tau_d}. \quad (42)$$

В формуле (42):  $v = D/d$  – индекс пружины, значение  $v$  рекомендуется принимать от 4 до 10, в зависимости от максимальной рабочей нагрузки на пружину  $P_1$

при  $P_1 \leq 440$  Н  $v=10$ ;

при  $440 < P_1 \leq 1290$  Н  $v = 9$ ;

при  $P_1 > 1290$  Н  $v=8$ .

(43)

где  $D$  – средний диаметр пружины, мм;

$k$  – коэффициент сжимаемости пружины, определяется по графику рис. 5 в зависимости от индекса пружины  $v$ ;

$\tau_d$  – допустимое напряжение сдвига при кручении материала пружины, значения  $\tau_d$  (Н/м<sup>2</sup>) для марок сталей, рекомендуемых для изготовления пружин, приведены в табл. 16.

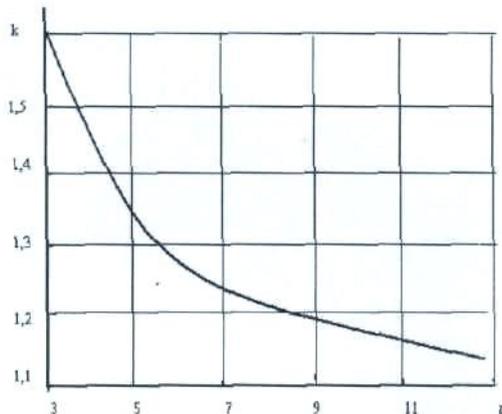


Рис. 5. Определение коэффициента k

Полное число витков пружины

$$i = i_p + i_m,$$

где  $i_p$  – число рабочих витков (округляют в большую сторону до целого витка),

$$i_p = \frac{d \cdot G}{8 \cdot v^3 \cdot c_1},$$

где  $G$  – модуль сдвига материала пружины, Н/м (табл. 16);

$i_m$  – число мертвых витков, принимаемое

$$i_m = 1,5 \text{ при } i_p < 7; i_m = 2,5 \text{ при } i_p \geq 7. \quad (44)$$

Таблица 16

Параметры пружинных сталей

Марка	G, Н/м <sup>2</sup> ·10 <sup>10</sup>	Режим работы*	$\tau_d$ , Н/м <sup>2</sup> ·108	Назначение	
				P <sub>1</sub> , Н при d, мм	
70	7,83	легкий	4,11	менее 940	не более 8
		средний	3,73		
		тяжелый	2,74		
55С2	7,45	легкий	5,49	более 1200	более 9
60С2		средний	4,41		
63С2А		тяжелый	3,43		
50ХФА	7,70	легкий	5,49	более 2400	более 12,5
		средний	4,90		
		тяжелый	3,92		

Примечание: Режим работы пружинных виброизоляторов: легкий:

- 1) пассивная виброизоляция объектов (при кинематическом возбуждении) чувствительных к вибрациям;
- 2) активная виброизоляция (при силовом возбуждении) машин:
  - а) I категория динамичности (КД) (по табл. 17),  $n > 400$  об/мин;
  - б) II КД,  $n > 2000$  об/мин;
- средний: активная виброизоляция машин:
  - а) II КД,  $400 < n < 2000$  об/мин;
  - б) III КД,  $n > 2000$  об/мин;
- тяжелый: активная виброизоляция машин:
  - а) III КД,  $400 < n < 2000$  об/мин;
  - б) IV КД.

Таблица 17

Зависимость категории динамичности от рабочей нагрузки

Категория динамичности (КД)	I	II	III	IV
Рабочая нагрузка $P_1, H$	до 98	98-980	980-9800	более 9800

**Пример 2**

Производственное оборудование массой  $m = 500$  кг и скоростью вращения  $n = 780$  об/мин создает вибрацию, заданную уровнем виброскорости  $L_v = 99,6$  дБ в третьоктавном спектре, в производственном помещении (рабочие места категории «3 а»). Определить полное число витков и диаметр проволоки пружины для комплекта пружинных виброизоляторов, который необходимо установить под оборудование для снижения вибрации до нормативных значений, если материал виброизолятора – сталь 70, количество виброизоляторов – 8 шт.

*Решение*

1) Определим частоту колебаний вынуждающей силы  $f_1$  (Гц) источника вибраций по известному значению скорости вращения  $n = 780$  об/мин:  $f_1 = 780/60 = 13$  Гц. Убедимся в необходимости применения виброизоляторов, установив нормативное значение параметра и сравнив его с фактическим значением. По таблице 12 (для рабочих мест категории «3 а») с учетом  $f_{cp} \approx f_1$  для третьоктавного спектра  $L_v = 87$  дБ. Фактическое значение уровня виброскорости по условию задачи составляет 99,6 дБ, что выше нормативного и означает, что установка виброизоляторов необходима.

Установим частоту собственных колебаний  $f_0$  (Гц), для чего вычислим значение частотного отношения  $\eta$  через коэффициент передачи и необходимую эффективность. Рассчитаем необходимое ослабление уровня виброскорости, зная фактическое и нормативное его значения

$$\Delta L = L_f - L_n = 99,6 - 87 = 12,6 \text{ дБ,}$$

(если нужно определить эффективность в процентах, то можно использовать формулу

$$U = \frac{V_{\phi} - V_H}{V_{\phi}} \cdot 100\%$$

и далее коэффициент передачи определяют по формуле (32). По формуле (33) определим коэффициент передачи

$$\varepsilon = \frac{1}{10 \cdot \frac{\Delta L}{20}} = \frac{1}{10 \cdot \frac{12,6}{20}} = 0,234.$$

Частотное соотношение по формуле (31)

$$\eta = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon} + 1} = \sqrt{\frac{1}{0,234} + 1} = 2,3.$$

Тогда  $f_0 = \frac{f_1}{\eta} = \frac{13}{2,3} = 5,7$  Гц.

2) Определим необходимую общую жесткость комплекта виброизоляторов в вертикальном направлении  $c_0$  (Н/м) по формуле (39)

$$c_0 = 500 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 5,7)^2 = 640676,81 \text{ Н/м},$$

а жесткость одного из 8 виброизоляторов, расположенных симметрично относительно вертикальной оси, проведенной через центр масс

$$c_1 = \frac{640676,81}{8} = 80084,6 \text{ Н/м}.$$

3) Рассчитаем амплитуду вертикальных колебаний  $x_0$  (м) для гармонической возмущающей силы по формуле (40)

$$x_0 = \frac{500 \cdot 9,8}{500 \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 13)^2 - 640676,81} = 0,00182 \text{ м}.$$

4) Рассчитаем статическую нагрузку на одну пружину

$$P_{ст1} = 500 \cdot \frac{9,8}{8} = 612,5 \text{ Н}.$$

Динамическая нагрузка на одну пружину в рабочем режиме изолируемого объекта

$$P_{дин1} = 0,00182 \cdot 80084,6 = 145,75 \text{ Н}.$$

По формуле (41) максимальная нагрузка на одну пружину

$$P_1 = 612,5 + 1,5 \cdot 145,75 = 831,13 \text{ Н}.$$

5) Определим диаметр проволоки пружины  $d$  (м) по формуле (42), для чего установим значение индекса пружины по формуле (43)  $\nu = 9$ , коэффициент сжимаемости пружины  $k$  по рисунку 5  $k = 1,19$  и допустимое напряжение сдвига при кручении материала пружины  $\tau_d$  по таблице 16 (по таблице 17 определим категорию динамичности – КД II, по примечанию к таблице 16 режим работы виброизолятора – средний)  $\tau_d = 3,73 \cdot 10^8$  Н/м

$$d \geq 1,6 \cdot \sqrt{831,13 \cdot 9 \cdot 1,19 / 3,73 \cdot 10^8} \cdot d = 0,00782 \text{ м} \approx 8 \text{ мм.}$$

6) По формуле рассчитаем число рабочих витков пружины

$$i_p = \frac{0,008 \cdot 7,83 \cdot 10^{10}}{8 \cdot 9^3 \cdot 80084,6} = 1,34 \approx 2,$$

тогда число мертвых витков по формуле (44)  $i_m = 1,5$ . Полное число витков пружины  $i = 2 + 1,5 = 3,5$  витка.

*Вывод*

В результате расчета получено: полное число витков пружины составит 3,5 витка, диаметр проволоки пружины 8 мм.

*Задача 2*

Производственное оборудование массой  $m$  и скоростью вращения  $n$  создает вибрацию, заданную одним из параметров  $a$ ,  $V$  или  $L_v$  в третьоктавном спектре, как в производственном помещении (рабочие места категории «3 а»), так и в помещении управления (рабочие места категории «3 в»). Определить полное число витков пружины и диаметр проволоки пружины для комплекта пружинных виброизоляторов, который необходимо установить под оборудование для снижения вибрации до нормативных значений, при известном материале виброизолятора и количестве виброизоляторов  $N$ .

Варианты заданий приведены в табл. 18.

Таблица 18

Варианты исходных данных к задаче 2

№ вар.	$m$ , кг	$n$ , об/мин	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$V$ , м/с·10 <sup>-2</sup>	$L_v$ , дБ	Тип помещения*	Материал виброизолятора	$N$ , шт.
1	110	924	-	-	92,8	У	Сталь 70	4
2	800**	1976	-	0,80	-	П	Сталь 63С2А	6
3	150	1470	0,126	-	-	У	Сталь 70	8
4	2000	480	-	-	110,0	П	Сталь 50ХФА	6
5	130	1200	-	0,150	-	У	Сталь 70	8

\*Тип помещения: П - производственное помещение; У - помещение управления

\*\*Агрегат работает при наличии агрессивных сред или повышенных температур.

## Ответы к задачам

### Задача 1

№ варианта	Толщина упругого элемента, $h$ (м) (округлить до 3 знака после запятой)	Диаметр или сторона квадрата, $d$ (м) (округлить до 3 знака после запятой)
1	0,024	0,121
2	0,014	0,158
3	0,011	0,048
4	0,054	0,274
5	0,053	0,239

### Задача 2

№ варианта	Диаметр проволоки пружины, $d$ (мм) (округлить до одного мм)	Полное число витков пружины, $i$ (вит.) (округлить до половины витка)
1	5	4,5
2	11	2,5
3	5	2,5
4	15	9,5
5	4	3,5

## 5. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Задание 1. Выберите правильный ответ

**1. Тепловым излучением называют...**

- а) электромагнитные волны, испускаемыми всеми телами;
- б) электромагнитные волны, испускаемые черными телами;
- в) электромагнитные волны, испускаемые телами с температурой выше  $0^{\circ}\text{C}$ ;
- г) механические волны, испускаемые всеми телами;
- д) механические волны, испускаемые телами с температурой выше  $0^{\circ}\text{C}$ .

**2. Среднюю мощность излучения за время, значительно большее периода световых колебаний, называют...**

- а) энергетической светимостью;
- б) потоком излучения;
- в) коэффициентом поглощения;
- г) спектральной плотностью энергетической светимости.

**3. Поток излучения, испускаемый с единицы площади поверхности тела, называют...**

- а) энергетической светимостью;
- б) монохроматическим коэффициентом поглощения;
- в) спектральной плотностью энергетической светимости;
- г) коэффициентом поглощения.

**4. Величина, равная отношению энергетической светимости узкого участка спектра к ширине этого участка, называется...**

- а) энергетической светимостью;
- б) потоком излучения;
- в) коэффициентом поглощения;
- г) спектральной плотностью энергетической светимости.

**5. Величина, равная отношению потока излучения, поглощенного данным телом, к потоку излучения, упавшего на него, называется...**

- а) энергетической светимостью;
- б) потоком излучения;
- в) коэффициентом поглощения;
- г) спектральной плотностью энергетической светимости.

**6. Коэффициент поглощения может принимать значения...**

- а) большие 0;
- б) меньше 0;
- в) от -1 до 1;
- г) 0 до 1.

**7. Укажите единицу СИ энергетической светимости:**

- а) Вт;
- б) Дж/с;
- в) Вт/м<sup>2</sup>;
- г) Вт/м<sup>3</sup>;
- д) Вт · м<sup>2</sup>.

**8. Укажите единицу СИ спектральной плотности энергетической светимости:**

- а) Вт;
- б) Дж/с;
- в) Вт/м<sup>2</sup>;
- г) Вт/м<sup>3</sup>;
- д) Вт · м<sup>2</sup>.

**9. Тело, коэффициент поглощения которого равен 1 для всех частот, называют...**

- а) серым;
- б) цветным;
- в) черным;
- г) белым.

**10. Тело, коэффициент поглощения которого меньше единицы и не зависит от длины волны света, падающего на него, называют:**

- а) серым;
- б) цветным;
- в) черным;
- г) белым.

**11. Закон Кирхгофа:**

а) при одинаковой спектральной плотности энергетической светимости, отношение температуры к монохроматическому коэффициенту поглощения одинаково для любых тел;

б) при одинаковом коэффициенте поглощения отношение спектральной плотности энергетической светимости к температуре одинаково для любых тел;

в) при одинаковой температуре отношение спектральной плотности энергетической светимости к монохроматическому коэффициенту поглощения одинаково для любых тел;

г) при одинаковой температуре отношение энергетической светимости к потоку излучения одинаково для любых тел;

д) при одинаковой спектральной плотности энергетической светимости, отношение потока излучения к монохроматическому коэффициенту поглощения одинаково для любых тел.

**12. Закон Кирхгофа при заданной температуре  $T$  аналитически записывается так:**

- а)  $(r_\lambda/T)_1 = (r_\lambda/T)_2 = \dots = (r_\lambda/T)_n$ ;
- б)  $(r_\lambda/\alpha_\lambda)_1 = (r_\lambda/\alpha_\lambda)_2 = \dots = (r_\lambda/\alpha_\lambda)_n$ ;
- в)  $(T/\alpha_\lambda)_1 = (T/\alpha_\lambda)_2 = \dots = (T/\alpha_\lambda)_n$ ;
- г)  $(r_\lambda \cdot \alpha_\lambda)_1 = (r_\lambda \cdot \alpha_\lambda)_2 = \dots = (r_\lambda \cdot \alpha_\lambda)_n$ .

**13. Закон Стефана-Больцмана:**

- а) спектральная плотность энергетической светимости черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры;
- б) коэффициент поглощения черного тела пропорционален четвертой степени его термодинамической температуры;
- в) энергетическая светимость черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры;
- г) энергетическая светимость черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры;
- д) энергетическая светимость черного тела обратно пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры.

**14. Укажите аналитическую запись закона Стефана-Больцмана:**

- а)  $\lambda_m = b/T$ ;
- б)  $R = \sigma \cdot T^4$ ;
- в)  $r_\lambda/\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$ ;
- г)  $\alpha = \Phi_{\text{погл}}/\Phi_{\text{пад}}$ .

**15. Закон смещения Вина:**

- а) максимальная длина волны теплового излучения черного тела обратно пропорциональна его термодинамической температуре;
- б) максимальная длина волны теплового излучения черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры;
- в) длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости черного тела, пропорционально четвертой степени его термодинамической температуры;
- г) длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости черного тела, обратно пропорциональна его термодинамической температуре;
- д) длина волны, на которую приходится максимум энергетической светимости черного тела, обратно пропорциональна его термодинамической температуре.

**16. Формула Планка представляет собой зависимость...**

- а) спектральной плотности энергетической светимости черного тела от его коэффициента поглощения и длины волны излучения;
- б) спектральной плотности энергетической светимости черного тела от его термодинамической температуры и длины волны излучения;

в) энергетической светимости черного тела от его термодинамической температуры и длины волны излучения;

г) энергетической светимости черного тела от его термодинамической температуры и коэффициента поглощения.

**17. Солнечной постоянной называют величину, равную...**

а) энергетической светимости Солнца;

б) потоку солнечной радиации, приходящейся на единицу площади границы земной атмосферы;

в) отношению потока солнечной радиации, приходящейся на единицу площади границы земной атмосферы к энергетической светимости Солнца.

**18. Термографией называют метод, основанный на ...**

а) на тепловом действии коротковолнового инфракрасного излучения;

б) прогревании внутренних органов высокочастотными электромагнитными колебаниями;

в) регистрации теплового излучения разных участков поверхности тела человека и определение их температуры.

**Задание 2. Укажите правильные высказывания**

**1.**

1) Отношение спектральной плотности энергетической светимости любого тела к его соответствующему монохроматическому коэффициенту поглощения равно спектральной плотности энергетической светимости черного тела при той же температуре.

2) Спектральная плотность энергетической светимости любого тела больше спектральной плотности энергетической светимости черного тела при той же температуре.

3) Черное тело при прочих равных условиях является наименее интенсивным источником теплового излучения.

**2.**

1) Максимум спектральной плотности энергетической светимости с повышением температуры смещается в сторону длинных волн.

2) Максимум спектральной плотности энергетической светимости с уменьшением температуры смещается в сторону длинных волн.

3) Максимум спектральной плотности энергетической светимости с повышением температуры смещается в сторону коротких волн.

4) Энергетическая светимость уменьшается по мере направления черного тела.

5) Энергетическая светимость увеличивается по мере остывания черного тела.

### 3.

1) Спектральная плотность энергетической светимости любого тела меньше спектральной плотности энергетической светимости черного тела при той же температуре.

2) Спектральная плотность энергетической светимости любого тела больше спектральной плотности энергетической светимости черного тела.

3) Спектральная плотность энергетической светимости любого тела больше спектральной плотности энергетической светимости черного тела при той же температуре.

### 4.

1) Зависимость спектральной плотности энергетической светимости от длины волны называют потоком излучения черного тела.

2) Зависимость спектральной плотности энергетической светимости от длины волны называют спектром излучения тела.

3) Зависимость потока излучения от длины волны называют спектром излучения тела.

4) Зависимость спектральной плотности энергетической светимости от температуры тела называют спектром излучения тела.

### 5.

1) Теплообменом организма с окружающей средой происходит посредством только теплопроводности и испарения.

2) Наибольшая доля тепловых потерь приходится на испарение с поверхности кожи и легких и на излучение во внешнюю среду от открытых частей тела.

3) Теплообмен организма с окружающей средой происходит посредством только излучения (поглощения) и испарения.

## Задание 3. Установите соответствия

### 1. Характеристика теплового излучения

- 1) спектральная плотность энергетической светимости
- 2) энергетическая светимость
- 3) коэффициент поглощения
- 4) поток излучения

### Единица измерения

- а) Вт/м<sup>2</sup>
- б) безразмерная
- в) Вт
- г) Вт/м<sup>3</sup>

### 2. Укажите аналитическую запись следующих законов:

- 1) закон смещения Вина                      а)  $R = \sigma \cdot T^4$
- 2) закон Кирхгофа                              б)  $\epsilon_\lambda = (2\pi \cdot h \cdot c^2 / \lambda^5) \cdot 1 / (e^{hc / \lambda kT} - 1)$
- 3) Закон Стефана-Больцмана              в)  $\lambda_m = b / T$
- 4) формула Планка                              г)  $r_\lambda / \alpha_\lambda = \epsilon_\lambda$

3.

- 1) При повышении температуры
- а) максимум спектральной плотности энергетической светимости смещается в сторону длинных волн;
  - б) максимум спектральной плотности энергетической светимости смещается в сторону коротких волн;
- 2) При уменьшении температуры
- в) энергетическая светимость тела возрастает;
  - г) энергетическая светимость тела уменьшается

**Задание 4. Составьте высказывания из нескольких предложенных фраз**

1.

**А.** Отношение спектральной плотности энергетической светимости любого тела к его соответствующему монохроматическому коэффициенту поглощения равно...

- 1) спектральной плотности энергетической светимости серого тела при той же температуре;
- 2) спектральной плотности энергетической светимости черного тела при той же температуре;
- 3) спектральной плотности энергетической светимости черного тела;
- 4) потоку излучения черного тела при той же температуре.

**Б.** Так как монохроматический коэффициент поглощения... единицы,

- 1) больше;
- 2) много больше;
- 3) меньше;

**В.** то спектральная плотность энергетической светимости любого тела ... спектральной плотности энергетической светимости черного тела при той же температуре.

- 1) больше;
- 2) много больше;
- 3) меньше;

**Г.** Следовательно, черное тело при прочих равных условиях является ... источником теплового излучения.

- 1) наиболее мощным;
- 2) наименее мощным.

2.

**А.** Способность тела поглощать энергию излучения характеризуют коэффициентом поглощения, равным...

- 1)  $\alpha = \Phi_{\text{пад.}} / \Phi_{\text{погл.}}$ ;

2)  $\alpha = \Phi_{\text{погл}}/\Phi_{\text{пад}}$ ;

3)  $\alpha = \Phi_{\text{пад}} \cdot \Phi_{\text{погл}}$

**Б.** Из определения следует, что коэффициенты поглощения могут принимать значения...

- 1) больше 1;
- 2) меньше 1;
- 3) от 0 до 1;
- 4) меньше 0.

**В.** Чем меньше коэффициент поглощения, тем... энергии отражает поверхность данного тела.

- 1) больше;
- 2) меньше.

**3.**

**А.** Энергетической светимостью называют величину, равную...

- 1) потоку излучения, испускаемому с поверхности тела за единицу времени;
- 2) потоку излучения, испускаемому с единицы поверхности тела;
- 3) средней мощности излучения за время, значительно большее периода световых колебаний.

**Б.** Энергетическая светимость черного тела...

- 1) пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры;
- 2) пропорциональна коэффициенту поглощения черного тела;
- 3) пропорциональна второй степени его термодинамической температуры;
- 4) обратно пропорционально четвертой степени его термодинамической температуры.

**В.** Эта зависимость представляет собой...

- 1) закон смещения Вина;
- 2) закон Кирхгофа;
- 3) закон Стефана-Больцмана;
- 4) формулу Планка.

**4.**

**А.** Максимум спектральной плотности энергетической светимости тела человека в соответствии с

- 1) законом Кирхгофа;
- 2) законом смещения Вина;
- 3) законом Стефана-Больцмана;
- 4) формулой Планка

**Б.** попадает на длину волны 9,5 мкм, что соответствует...

- 1) рентгеновскому излучению;
- 2) ультрафиолетовому излучению;
- 3) видимому излучению (свету);
- 4) инфракрасному излучению.

### Задание 5. Решите задачу и укажите правильный ответ

1. Спектральная плотность энергетической светимости черного тела в некотором интервале длин волн равна  $3 \cdot 10^{13}$  Вт/м<sup>3</sup>. Определите соответствующую спектральную плотность энергетической светимости серого тела, имеющего ту же температуру и коэффициент поглощения 0,8.

- 1)  $3,75 \cdot 10^{13}$  Вт/м<sup>3</sup>;
- 2)  $2,10 \cdot 10^{13}$  Вт/м<sup>3</sup>;
- 3)  $210 \cdot 10^{13}$  Вт/м<sup>3</sup>;
- 4)  $0,27 \cdot 10^{13}$  Вт/м<sup>3</sup>.

2. Вычислите, во сколько раз отличаются энергетические светимости участков тела человека, имеющих температуры 30,5 и 30,0 °С соответственно

- 1) в 1,0066 раз;
- 2) в 1,068;
- 3) в 1,67.

3. Как изменится энергетическая светимость серого тела, если в следствии изменения его температуры максимум спектральной плотности энергетической светимости сместился с  $\lambda_1 = 800$  нм на  $\lambda_1 = 2400$  нм?

- 1) увеличилась в 3 раза;
- 2) уменьшилась в 3 раза;
- 3) уменьшилась в 9 раз;
- 4) уменьшилась в 81 раз;
- 5) увеличилась в 81 раз.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплозащита в металлургии. Справочник. Петров СВ., Шорин А.Ф. -М: «Металлургия», 1981 г. - 120 с.
2. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» - М.: ВГУП «Стандартинформ», 2006 г.
3. ГОСТ 12.4.123-83 «Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений» - М.: ВГУП «Стандартинформ», 2006 г.
4. СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов, актуализированная редакция СНиП 41-03-2003» -М.: Министерство регионального развития РФ, 2012 г.
5. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» -М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997 г.
6. ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» -М.: ИПК Издательство стандартов, 1996 г.
7. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»: Гигиенические нормативы (утв. постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. №47).
8. СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 14 февраля 2003 г.)
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 13 июня 2003 г. №118).
10. Защитные устройства. Справочное пособие под ред. проф. Б.М. Злобинского. -М.: Metallurgy, 1971 г. -456 с.
11. В.З. Козлов. Справочник по радиационной безопасности. -М: Энергоатомиздат, 1991 г.-352 с.
12. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2010.
13. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. -М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Степень черноты некоторых материалов

Материал	Степень черноты
Алюминий: -полированный	0,04...0,062
-шероховатый	0,06...0,07
-сильно окисленный	0,11...0,30
Алюминиевые краски разного возраста	0,20...0,67
Железо: -полированное	0,14...0,38
-свежеобработанное наждаком	0,24
-окисленное гладкое	0,74...0,82
-оцинкованное блестящее	0,23
-оцинкованное окисленное	0,28
Жесть белая старая	0,28
Сталь: -листовая шлифованная	0,52...0,61
-мягкая расплавленная	0,28
-окисленная (стальной лист)	0,80...0,98
Чугун: -полированный	0,11
-окисленный	0,64...0,78
-расплавленный	0,28...0,29
Чугунное литье	0,81
Вода	0,95...0,98
Глина обожженная	0,91
Каолин	0,40
Асбестовый материал: -картон	0,96
-шифер	0,96
-ткань	0,78
Кирпичная кладка оштукатуренная	0,94
Цемент	0,54
Штукатурка шероховатая	0,91...0,93
Краски масляные различных цветов	0,92...0,96
Кирпич: -обожженный	0,65...0,76
-огнеупорный	0,65...0,75
-высокоогнеупорный	0,82...0,87
-шамотный	0,59...0,85
-динасовый	0,66
-магнезитовый	0,38
-красный	0,88...0,93
-силикатный	0,66
Лак: -черный матовый	0,96...0,98
-черный блестящий, распыленный по железу	0,87...0,88
-жаропрочный	0,92...0,93
Стекло: -обычное	0,91...0,94
-матовое	0,96

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Взвешивающие коэффициенты  $W_R$   
для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы [7]

Вид излучения	$W_R$
Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ	5
от 10 до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ., кроме протонов отдачи	5
$\alpha$ -частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Взвешивающие коэффициенты  $W_T$   
для тканей и органов при расчете эффективной дозы [7]

Органы и ткани	$W,$
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, экстрагаторокальный отдел кишечника, почки, мышечную ткань, поджелудочную железу, селезенку, вилочковую органов дыхания, тонкий железу и матку.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### Свинцовые эквиваленты d (мм) защиты

в зависимости от кратности ослабления K рентгеновского излучения [8]

K, отн. ед.	Свинцовый эквивалент d (мм) при анодном напряжении U <sub>max</sub> (кВ)					
	50	75	100	150	200	250
Толщина защиты из свинца, d (Pb), мм						
3	0,02	-	0,10	0,16	0,24	0,20
7	0,05	0,11	0,21	0,31	0,46	0,60
10	0,06	0,13	0,25	0,37	0,55	0,70
15	0,08	0,17	0,31	0,46	0,69	1,00
20	0,09	0,20	0,37	0,53	0,80	1,10
25	0,10	0,22	0,42	0,59	0,90	1,30
30	0,11	0,24	0,45	0,62	0,90	1,40
40	0,12	0,28	0,52	0,69	1,10	1,60
50	0,13	0,31	0,58	0,80	1,20	1,90
70	0,14	0,36	0,68	0,80	1,30	2,00
100	0,16	0,41	0,80	1,00	1,50	2,40
150	0,20	0,50	0,90	1,10	1,70	2,70
200	0,20	0,50	1,00	1,20	1,80	3,00
300	0,30	0,60	1,10	1,40	2,00	3,50
400	0,30	0,70	1,20	1,50	2,20	3,80
600	0,30	0,75	1,30	1,70	2,40	4,20
800	0,30	0,80	1,40	1,70	2,50	4,50
1000	0,30	0,80	1,50	1,80	2,60	4,70
1500	0,40	0,90	1,60	2,00	2,80	5,20
2000	0,40	1,00	1,70	2,10	3,00	5,60
2500	0,40	1,00	3,80	2,20	3,10	5,08
3000	0,40	1,10	1,90	2,30	3,20	6,00
4000	0,45	1,10	2,00	2,40	3,35	6,20
5000	0,50	1,15	2,10	2,50	3,50	6,60
6000	0,50	1,20	2,20	2,60	3,60	6,80
10000	0,50	1,30	2,30	2,75	3,90	7,40
12000	0,50	1,30	2,40	2,85	4,00	7,60
15000	0,55	1,35	2,50	2,95	4,10	7,80
20000	0,60	1,40	2,60	3,10	4,30	8,10
30000	0,60	1,50	2,70	3,20	4,50	8,60
40000	0,65	1,60	2,85	3,30	4,70	9,00
50000	0,65	1,65	2,90	3,40	4,80	9,20
60000	0,65	1,65	3,00	3,50	4,90	9,40
100000	0,70	1,80	3,20	3,70	5,20	10,00
200000	0,75	1,90	3,40	4,00	5,60	11,00
300000	0,80	2,00	3,60	4,20	5,80	11,40
500000	0,80	2,20	3,80	4,40	6,10	12,00
1000000	0,90	2,30	4,00	4,70	6,50	13,00
1500000	0,90	2,30	4,20	4,80	6,70	13,40
3000000	1,00	2,50	4,40	5,10	7,10	14,20
5000000	1,00	2,60	4,60	5,30	7,40	15,00
10000000	1,10	2,80	4,90	5,60	7,80	15,80

При определении свинцового эквивалента материалов для значений анодных напряжений, не указанных в таблице, можно использовать метод линейной интерполяции

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Свинцовые эквиваленты строительных материалов, используемых для защиты от рентгеновского излучения [8]

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Толщина свинцового эквивалента, с/мм	Эквивалентная толщина материала d (мм) при напряжении на рентгеновской трубке U <sub>max</sub> (кВ)					
			50	75	100	150	200	250
Сталь	7,9	0,2	1,1	1,2	1,2	2,4	3,2	3,4
		0,5	3,2	3,2	3,2	6,6	7,6	8
		1	-	5,5	6	12	13	12
		2	-	И	12	25	27	20
		3	-	18	19	37	40	28
		4	-	24	25	50	55	35
		6	-	-	36	71	80	48
		8	-	-	50	93	108	60
		10	-	-	-	119	140	75
Бетон	2,3	1	-	80	85	85	85	60
		2	-	160	160	160	150	95
		3	-	210	210	230	210	125
		4	-	338	355	290	275	150
		6	-	-	-	450	400	210
		8	-	-	-	600	540	260
		10	-	-	-	-	670	300
Кирпич полнотелый	1,8	0,5	100	80	70	84	76	68
		1	200	150	120	150	130	120
		2	-	240	195	260	230	190
		3	-	320	260	340	310	250
		4	-	400	330	420	370	300
		6	-	-	450	570	490	390
		8	-	-	-	-	600	470
		10	-	-	-	-	-	540
Пенобетон	0,63	0,2	84	-	66	82	92	77
		0,4	180	-	120	160	145	135
		0,6	280	-	170	230	200	180
		0,8	380	-	220	280	260	230
		1,0	480	-	270	340	310	270
		1,2	-	-	310	400	360	310
		1,4	-	-	350	450	410	340
		1,6	-	-	390	500	450	380
		1,8	-	-	430	560	500	410
		2,0	-	-	470	600	530	440
Строительный материал СРБ (тяжелый бетон)	2,7	1	20	21	24	28	-	-
		2	40	42	48	48	-	-
		3	60	62	70	70	-	-
		4	80	80	94	94	-	-
		6	-	-	-	132	-	-
		8	-	-	-	172	-	-

При определении свинцового эквивалента материалов для значений анодных напряжений, не указанных в таблице, можно использовать метод линейной интерполяции. При отличии плотностей фактически применяемых материалов от материалов, близких по составу, указанных в таблице, толщину материала увеличивают или уменьшают пропорционально плотности применяемого материала

## Ответы к задачам

### Задача 1

№ варианта	Температура экрана $T_Э$ °С (округлить до целого)	Соответствие нормативу (Да/Нет)
1	147	нет
2	158	нет
3	32	да
4	48	нет
5	32	да

### Задача 2

№ варианта	Расчетная толщина теплоизоляции нагревательной печи $\delta_1$ , м (округлить до сотых)	Конечная толщина теплоизоляции с учетом стандартных размеров теплоизоляционных материалов, мм
1	0,21	240 (в два слоя длинной стороной)
2	0,17	200
3	0,39	400
4	0,36	370 (в два слоя: 250 и 120)
5	0,26	300

### Задача 3

№ варианта	Кратность ослабления мощности дозы рентгеновского излучения $K$ , отн. ед (округлить до целого числа)	Толщина экрана из свинца (свинцовый эквивалент) $d$ , мм (указать значение для ближайшей большей кратности $K$ )
1	98	0,41
2	352	1,50
3	153	0,20
4	174	1,80
5	254	3,50

### Задача 4

№ варианта	Мощность экспозиционной дозы $P_x$ , мкР/ч (округлить до тысячных)	Соответствие нормативу (Да/Нет)
1	0,003	да
2	0,015	да
3	0,045	да
4	0,010	да
5	0,006	да

Учебное текстовое электронное издание

**Сомова Юлия Васильевна  
Волкова Елена Александровна  
Москвина Елена Алексеевна**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Практикум

1,14 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2019 год  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,  
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
Кафедра промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности  
Центр электронных образовательных ресурсов и  
дистанционных образовательных технологий  
e-mail: ceor\_dot@mail.ru