МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Охрана труда и окружающей среды»

Утверждено на заседании кафедры
«Охрана труда и окружающей среды»
«_30»___01__ 2020г., протокол №_6__

Заведующий кафедрой
В.М. Панарин

СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

«Основы проектирования средств защиты»

основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
20.03.01 Техносферная безопасность*)*

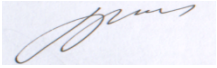
с направленностью (профилем)*)*
Инженерная защита окружающей среды

Формы обучения: *очная, заочная*

Идентификационный номер образовательной программы: 200301-01-20

Тула 2020 год

Разработчик:

Павпертов В.Г., доцент, канд.техн.наук, доцент__ 

1.Удаление вредных веществ из помещения с помощью общеобменной вентиляции

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет по удалению вредных веществ из помещения с помощью общеобменной вентиляции.

Задачи работы: изучить методику расчета общеобменной вентиляции.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Приточная механическая вентиляция применяется в производственных помещениях со значительными тепловыделениями и малой концентрацией вредных веществ. При этом загрязнённый воздух удаляется через фрамуги, дефлекторы или вентиляционные воздуховоды не только вследствие теплового напора, но и благодаря подпору, создаваемому вентилятором. Свежий воздух забирается в чистой зоне и по воздуховодам подаётся в рабочую зону помещений.

Вытяжная общеобменная вентиляция применяется в помещениях, в которых отсутствуют выделения вредных веществ (во вспомогательных и бытовых помещениях, на складах).

Приточно-вытяжная вентиляция применяется во всех производственных помещениях, когда требуется надёжный обмен воздуха, когда в воздух выделяется большое количество вредных веществ. Для очистки выбрасываемого воздуха от вредных веществ устанавливаются пыле – или туманоуловители.

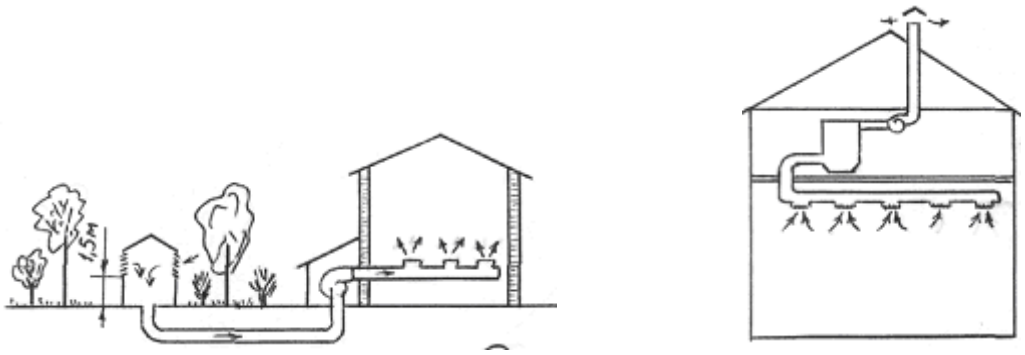


Рисунок 2.1 – Общеобменная приточная и вытяжная вентиляция

При выделении вредных паров, газов или пыли в помещении необходимый воздухообмен определяется требованием разбавления вредных веществ до допустимых концентраций.

Если выделится одно вредное вещество, то расчет проводится на основе уравнения массы вещества:

$$L_{пр} \cdot C_{пр} + G = L_{и} \cdot C_{в} ,$$

где $L_{пр}$, $L_{в}$ - количество приточного и выбрасываемого воздуха, $м^3/ч$;

$C_{пр}$ - концентрация вредного вещества в приточном воздухе, $мг/м^3$.

$C_{в}$ - концентрация вредного вещества в воздухе, выбрасываемом из помещения, $мг/м^3$.

Так как количество $L_{пр}=L_{в}=L$, то из уравнения (2.8) получим

$$L = \frac{G}{C_{в} - C_{пр}} , \qquad (2.1)$$

где L - необходимый воздухообмен в помещении, $м^3/ч$.

Концентрация вредного вещества в воздухе, выбрасываемом из помещения, не должна быть выше ПДК, поэтому в расчетах принимается $C_{в}$ = ПДК.

Если воздух для проветривания поступает из смежного помещения, то $C_{пр}$ должно быть не более 30 % от ПДК, т.е. $C_{пр} \leq 0.3$ ПДК.

Так как в воздухе, поступающем в помещение, должно быть минимальное количество вредных веществ, для проветривания рационально забирать наружный воздух из зеленой зоны, при этом $C_{пр}=0$.

В этом случае формула (2.8) будет иметь вид

$$L = \frac{G}{ПДК} , \qquad (2.2)$$

Если же в помещении присутсвуют несколько различных вредных веществ, то расчет воздухообмена L ведется по каждому из них и принимается L_i по тому веществу, у которого расчетное значение больше (в том числе сравнивается и L_i по теплоизбыткам).

В тех случаях, когда происходит одновременное выделение нескольких вредных веществ, которые оказывают одинаковое биологическое воздействие на организм человека (например, различные кислоты; NO_2 и CO и т.д.), то необходимый воздухообмен L расчитывается путем суммирования количества воздуха, необходимого для разбавления каждого вещества, т.е.

$$L_{одн} = \sum_{i=1}^{n} L_i ,$$

где $L_{одн}$ - необходимый воздухообмен в помещении, при выделении веществ однонаправленного действия, $м^3/ч$;

L_i - расчетное значение воздухообмена для i-го вредного вещества, $м^3/ч$;

i - число веществ, обладающих однонаправленным действием.

Значение L_i определяется по формуле (2.9).

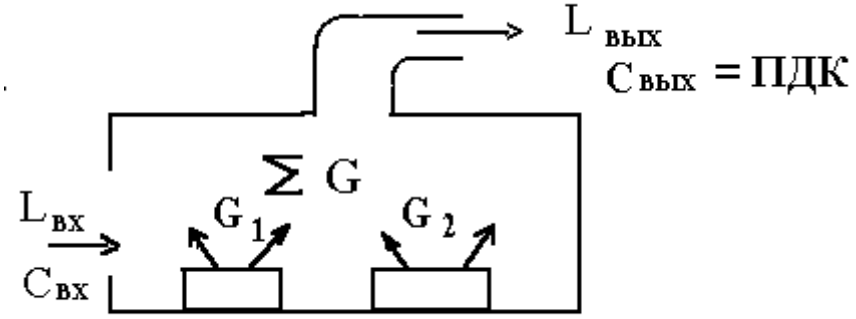


Рисунок 2.2 - Расчетная схема

2.2 Примеры решения задач по общеобменной вентиляции

Задача 1

В помещении находится два станка, от которых выделяется пыль с содержанием кремния. От одного станка выделяется 0,1 г/мин пыли SiO_2, от другого 0,2 г/мин пыли SiO_2. Определить количество воздуха, при общеобменной вентиляции, необходимого для разбавления концентрации пыли до $ПДК_{SiO2}$=1 мг/м^3.

Решение:

Определим количество воздуха, необходимого для уменьшения концентрации пыли до ПДК:

$$L_i = \frac{\sum G_i}{ПДК_i}, \qquad (2.3)$$

где L_i - количество воздуха, необходимого для удаления пыли, м^3/ч;

G_i – количество вредных веществ, выделившихся в помещение в единицу времени, мг/ч;

$ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация для данного вещества, мг/м^3,

$$L_{SiO_2} = \frac{(0{,}1 + 0{,}2) \cdot 1000 \cdot 60}{1} = 18\ 000\ м^3/ч.$$

В данном случае желательно поставить местные отсосы. Если местные отсосы улавливают 90% пыли, то общеобменной вентиляцией достаточно производительности

$$L_{общ} = 0{,}1 \cdot L_{SiO_2},$$

где $L_{мест}$ – количество воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией, м^3/ч,

$$L_{мест} = 0{,}1 \cdot 18000 = 1800\, м^3/ч.$$

Поставим два местных отсоса, производительностью по 500 м^3/ч, то для общеобменной вентиляции достаточно 800 м^3/ч.

Задача 2

В производственном помещении размерами 10×20×5 м работают 12 человек. Источники загрязнения: шлифовальный станок, выделяющий пыль с содержанием кремния 1,2 г/мин, сварочный аппарат, выделяющий оксид углерода (CO) 1,2 г/мин, оксид марганца (MnO_2) 0,2 г/ч. $ПДК_{SiO2}$=1 мг/м^3, $ПДК_{MnO2}$=0,3 мг/м^3, $ПДК_{CO}$=20 мг/м^3. Рассчитать необходимый воздухообмен при общеобменной вентиляции помещения.

Решение:

Рассчитаем параметры вентиляции:

$$L_i = \frac{\sum G_i}{ПДК_i},$$

где L_i - количество воздуха, необходимого для уменьшения концентрации пыли, м^3/ч;

G_i – количество вредных веществ, выделившихся в помещение в единицу времени, мг/ч;

$ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация для данного вещества, мг/м^3.

для SiO_2 $$L_{SiO_2} = \frac{1{,}2 \cdot 1000 \cdot 60}{1} = 72000 \text{ м}^3/\text{ч},$$

для MnO_2: $$L_{MnO_2} = \frac{0{,}2 \cdot 1000}{0{,}3} = 667 \text{ м}^3/\text{ч},$$

для CO: $$L_{CO} = \frac{1{,}2 \cdot 1000 \cdot 60}{20} = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Так как вещества разнонаправленного действия, то из трех полученных значений принимаем максимальное $L_{SiO_2} = 72000$ м^3/ч.

Количество воздуха для общеобменной вентиляции очень большое, поэтому необходимо на шлифовальном станке установить местный отсос, или применять мокрое шлифование.

Ответ: $L = 72000$ м^3/ч.

Задача 3

В помещении размерами 8×5×4 м производится сварка изделий. Электрод применяется марки ОМА-2. Расход электродов $m_{эл}$=500 г/ч. Выделение диоксида марганца (MnO_2) на 1 кг расходуемого электрода 0,83 г/кг. $ПДК_{MnO_2} = 0{,}3$ мг/м^3. Определить параметры общеобменной вентиляции.

Решение:

1. Определим выделение диоксида марганца в единицу времени:

$$G_{MnO_2} = m_{эл/ч} \cdot G^1_{MnO_2}, \qquad (2.4)$$

где G_{MnO_2} - выделение диоксида марганца в единицу времени, мг/ч;

$m_{эл}$ – расход электродов, кг/ч;

$G^1_{MnO_2}$ - количество марганца, выделившегося в помещение при сжигании 1 кг электрода, мг/кг,

$$G_{MnO_2} = 500 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}83 \cdot 10^3 = 415 \text{ мг/ч.}$$

2. Определим параметры общеобменной вентиляции:

$$L = \frac{G_{MnO_2}}{ПДК_{MnO_2}}, \qquad (2.5)$$

где G_{MnO_2} - выделение диоксида марганца в единицу времени, мг/ч;

$ПДК_{MnO_2}$ - предельно-допустимая концентрация MnO_2, мг/м^3;

L – количество воздуха, необходимого для разбавления сварочной аэрозоли с MnO_2 до ПДК:

$$L = \frac{415}{0{,}3} = 1380 \text{ м}^3\text{/ч.}$$

Ответ: L=1380 м^3/ч.

2.3 Пример расчета потребляемой мощности вентилятора

Задача 4

В помещении расположен оконный осевой вентилятор, производительностью 2000 м^3/ч воздуха. Найти потребляемую мощность вентилятора, если КПД вентилятора 0,6, КПД привода 1, коэффициент запаса 1, аэродинамическое сопротивление (давление, развиваемое вентилятором) 500 Па.

Решение:

Найдем потребляемую мощность вентилятора по формуле:

$$N = \frac{L \cdot P \cdot k_з}{\eta_{вент} \cdot \eta_{пр} \cdot 1000 \cdot 3600}, \qquad (2.6)$$

где N – мощность электродвигателя вентилятора, кВт;

L –производительность вентилятора, м^3/ч;

P – полное давление, развиваемое вентилятором, Па;

$k_з$ – коэффициент запаса, который необходим для проектирования вентилятора;

$\eta_{вент}$ – КПД вентилятора;

$\eta_{пр}$ – КПД привода,

$$N = \frac{2000 \cdot 500 \cdot 1}{0{,}6 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 3600} = 0{,}46\,кВт = 460\ Вт,$$

Ответ: N= 460 Вт.

Задача 5

Определить затраты на электроэнергию в течение месяца от вентилятора мощностью 0,46 кВт, который работает в две смены 24 дня в месяц. Стоимость электроэнергии 1 кВт/ч принять 1 руб. 25 коп.

Решение:

1. Время работы вентилятора в месяц

$$\tau = 2 \cdot 8 \cdot 24 = 384\,ч.$$

2. Затраты на электроэнергию, потребляемую от вентилятора

$$Э = N_{вент} \cdot \tau \cdot G_{кВт \cdot ч}, \qquad (2.7)$$

где Э - затраты на электроэнергию, потребляемую вентилятором, руб.;

$N_{вент}$ – мощность электродвигателя вентилятора, кВт;

τ – время работы вентилятора;

$G_{кВт \cdot ч}$ – стоимость 1 кВт·ч, руб,

$$Э = 0{,}46 \cdot 384 \cdot 1{,}25 = 220{,}8\ руб.$$

Ответ: Э=220 руб. 80 коп.

2.4 Пример по определению концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Задача 6

В помещении находится обдирочный станок, источник выделения кремниевой пыли - SiO_2 и угарного газа CO. Интенсивность выделения пыли 0,05 г/мин и оксида углерода 0,5 г/ч. Через вытяжное отверстие размером 0,2х0,2 воздух удаляется со скоростью 0,2 м/с. Определить концентрацию SiO_2 и CO ($ПДК_{SiO2}$=1 мг/м^3, $ПДК_{CO}$=20 мг/м^3).

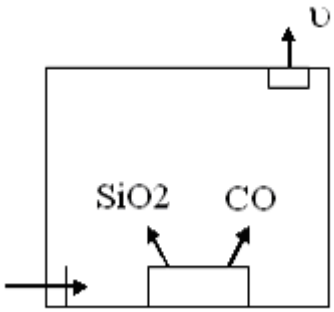


Рисунок 2.3 – Схема помещения с источниками выделения вредных веществ

Решение:

1. Определим количество воздуха удаляемого из помещения:

$$L_в = F_{в.о} \cdot \upsilon_{в.о} \cdot 3600,$$

где $F_{в.о}$ – вытяжного отверстия, м^2;

$\upsilon_{пан}$ - скорость воздуха в вытяжном отверстии, м/с.

$$L_В = (0{,}2 \cdot 0{,}2) \cdot 0{,}2 \cdot 3600 = 28{,}8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Концентрацию вредного вещества определим по формуле:

$$c = \frac{\sum G}{L}, \qquad (2.8)$$

где c – концентрация вредного вещества, мг/м^3;

$\sum G$ - количество вредных веществ выделяемых в помещении в единицу времени, м^3/ч,

$$c_{SiO_2} = \frac{0{,}05 \cdot 1000 \cdot 60}{28{,}8} = 104 \text{ мг/м}^3;$$

$$c_{CO} = \frac{0{,}5 \cdot 1000}{28{,}8} = 17 \text{ мг/м}^3.$$

Необходимо организовать более эффективный воздухообмен в помещении или установить местный отсос, так как концентрация пыли с содержанием SiO_2 в воздухе превышает ПДК в 100 раз.

Ответ: концентрация SiO_2 составит 104 мг/м^3, а CO – 17 мг/м^3.

Задача 7

В помещении цеха размерами 10×6×4 м не работает вентиляция. Количество оксида углерода CO, выделяемого в минуту, составляет 2 г. Определить концентрацию CO в помещении через 2 часа работы оборудования.

Решение:

1. Определим, какое количество вещества поступает в помещение за время τ:

$$\sum G = G_{CO} \cdot \tau, \qquad (2.9)$$

где ΣG – количество вещества поступает в помещение за время τ, мг;

τ – время работы оборудования, ч;

G_{CO} – количество вредного вещества, выделившегося в единицу времени, мг/ч,

$$\sum C = 2 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot 2 = 240\ 000 \text{ мг.}$$

2. Определим концентрацию CO в помещении через 2 часа работы оборудования:

$$C_{CO} = \frac{\sum G}{V}, \qquad (2.10)$$

где C_{CO} – концентрация CO в помещении через 2 часа работы оборудования, мг/м^3;

ΣG – количество вещества, которое поступает в помещение за время τ, мг;

V – объем помещения, м,

$$C_{CO} = \frac{240000}{10 \cdot 6 \cdot 4} = 1000 \text{ мг/м}^3.$$

Из-за отсутствия вентиляции концентрация CO в 50 раз выше ПДК. Такая концентрация CO может вызвать удушье в помещении.

Зависимость концентрации от времени в данном случае можно представить с помощью графика:

C_{CO}, мг/м^3

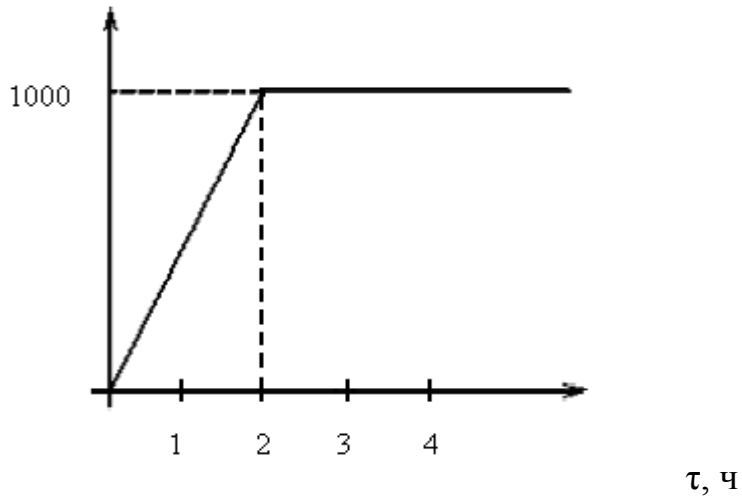


Рисунок 2.4 – График зависимости концентрации от времени

Ответ: C_{CO}=1000 мг/м^3.

Задача 3.3

В помещении цеха работает вентиляция, производительностью 2500 м^3/ч. Количество оксида углерода CO, выделяемого в минуту составляет 2 г. Определить максимальную концентрацию CO в помещении.

Решение:

1. Определим, какое количество вещества поступает в помещение:

$$\sum G = G_{CO},$$

где ΣG – количество вещества поступает в помещение, мг/ч;

G_{CO} – количество вредного вещества, выделяющегося в единицу времени, мг/ч,

$$\sum G = 2 \cdot 1000 \cdot 60 = 120\ 000 \text{ мг/ч}.$$

2. Определим концентрацию CO в помещении:

$$C_{CO} = \frac{\sum G}{L}, \qquad (3.4)$$

где C_{CO} – концентрация CO в помещении, мг/м^3;

ΣG – количество вещества, поступающего в помещение, мг/ч;

L – производительность вентиляции, м^3/ч,

$$C_{CO} = \frac{120000}{2500} = 48 \text{ мг/м}^3.$$

В данном случае зависимость концентрации от времени можно представить с помощью следующего графика:

C_{CO}, мг/м^3 .

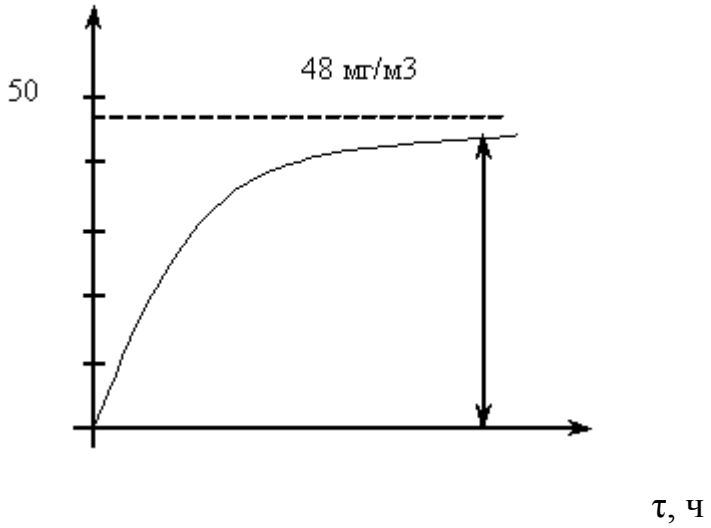


Рисунок 3.2 – График зависимости концентрации от времени

Ответ: C_{CO}=48 мг/м^3.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры общеобменной вентиляции по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров.

4.2. Рассчитать основные параметры вентиляции. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких единицах измеряется ПДК газообразных веществ?
2. Если в помещении выделяется два вещества разнонаправленного действия, то как определяется необходимый воздухообмен при обще обменной вентиляции L?

3. По какой формуле определяется необходимый воздухообмен в помещении, если выделяются два вещества однонаправленного действия (например, NO_2 и SO_2)?
4. Какое количество воздуха необходимо удалять и подавать свежего воздуха, если в помещении размером 5х10х4 м находится печь и выделение СО составляет 0,1 г/мин. $ПДК_{co}$=20 мг/м^3?
5. В помещении производится сварка изделий. Расход электродов составляет 200 г/ч. При расплавлении 1 кг электродов выделится 0,5 грамма MnO_2. Сколько диоксида марганца выделится за 1 час?
6. В помещении при сварке изделий выделится диоксид марганца 0,12 г/ч , $ПДК_{MnO2}$=0.3 мг/м^3. Какой должен быть воздухообмен в помещении при общеобменной вентиляции?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.
2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

2. Расчет основных параметров закрытых приемников и местных отсосов

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет местной вентиляции.

Задачи работы: изучить методику расчета местной вентиляции и выполнить расчет по заданию преподавателя.

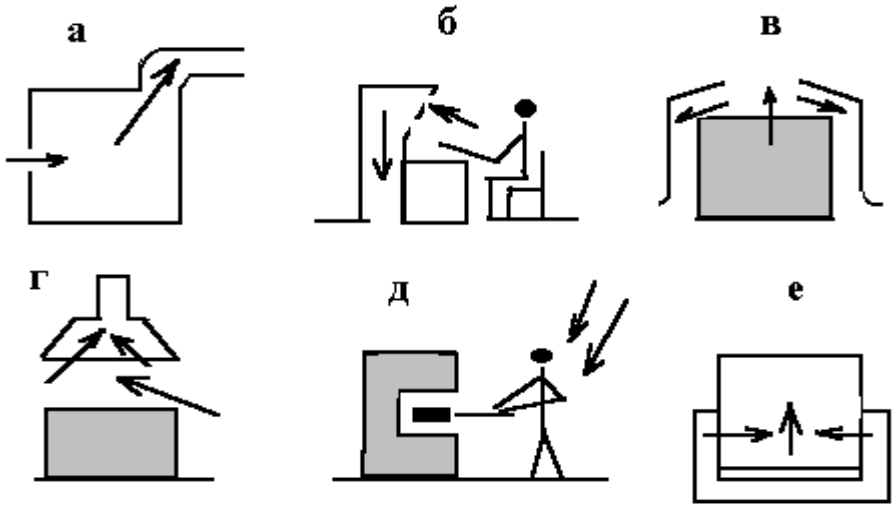
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для удаления вредных веществ непосредственно в месте их образования и предотвращения распространения их в воздухе всего производственного помещения применяется местная механическая вентиляция (закрытые приемники, местные отсосы, вытяжные зонты, бортовые отсосы, воздушные души, воздушные завесы).

Закрытыми приемниками вредных веществ (кожухами) оборудуются шлифовальные, обдирочные, полировальные, заточные и прочие станки. При термической и гальванической обработке металлов, окраске, расфасовке сыпучих материалов используются вытяжные шкафы, кабины и камеры (рисунок 1.1 а).

Местные отсосы (рисунок 1.2,б) необходимо устанавливать при газовой сварке, пайке, ручной покраске и т. п.

Бортовые отсосы (рисунок 1.2,в) следует применять для удаления паров кислот и щелочей из ванн при травлении металлов и нанесении гальванических покрытий.



а - закрытый приемник; б - местный отсос; в - бортовые отсосы;
г – вытяжной зонт; д - воздушный душ; е - воздушная завеса

Рисунок 1.1 - Схемы местной вентиляции

Вытяжные зонты (см. рисунок 1.2,г) применяются для улавливания вредных веществ, поднимающихся вверх (исключая высоко токсичные).

Воздушные души (см. рисунок 1.2,д) обеспечивают подачу прохладного свежего воздуха на рабочие места, применяется при воздействии на рабочих лучистой теплоты с интенсивностью 0,35 кВт/м^2 и более.

Воздушная завеса (см. рисунок 1.2,е) предотвращает поступление в помещение больших масс холодного воздуха из дверей. Струи теплого воздуха подаются снизу или сбоку навстречу потоку холодного воздуха.

2.1 ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЫТОГО ПРИЕМНИКА

Задача 1

Вытяжной шкаф, размерами 2х2х3 м имеет проем 0,4х0,7 м. Скорость воздуха в проеме 0,5 м/с. Определить производительность вентилятора, достаточную для удаления вредных веществ из шкафа.

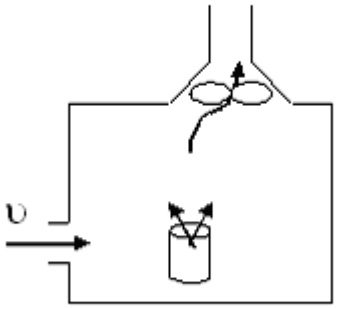


Рисунок 1.1 – Схема вытяжного шкафа

Решение:

1. Производительность вентилятора определим по формуле:

$$L = F \cdot \upsilon \cdot 3600, \qquad (1.1)$$

где L – производительность вентилятора, м^3/ч;

F – площадь проема вытяжной установки, м^2;

υ – скорость воздуха в проеме вытяжной установки, м/с,

$$L = 0,4 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 3600 = 500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Целесообразно выбрать осевой вентилятор.

Ответ: производительность вентилятора, достаточная для удаления вредных веществ из шкафа равна 500 м^3/ч.

2.2 ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЫТЯЖНОЙ ПАНЕЛИ

Задача 2

Имеется вытяжная панель размером 0,6х0,8 м. Отношение площади щелей панели к общей площади панели (коэффициент использования) $к_и = 0,25$. Скорость всасывания $\upsilon_{вс} = 0,7$ м/с. Отношение скорости всасывания воздуха к скорости в щелях панели $\upsilon_{вс} / \upsilon_{пан} = 0,1$. Определить количество воздуха, удаляемого вытяжной панелью.

Решение:

1. Определим производительность вентилятора панели по формуле:

$$L_в = F_{пан} \cdot k_и \cdot \upsilon_{пан} \cdot 3600, \qquad (2.1)$$

где $L_в$ – производительность вентилятора вытяжной панели, м^3/ч;

$F_{пан.}$ – площадь панели, м^2;

$k_и$ – коэффициент использования;

$\upsilon_{пан}$ - скорость воздуха в щелях панели, м/с,

скорость воздуха в щелях панели $\upsilon_{пан} = \upsilon_{вс}/0,1=0,7/0,1=7$ м/с.

$$L_В = 0,48 \cdot 0,25 \cdot 7 \cdot 3600 = 3000 м^3.$$

Ответ: количество воздуха, удаляемое вытяжной панелью составляет 3000 м^3.

Задача 3

Определить размеры воздуховода, если производительность вентилятора 5500 м^3/с, а скорость воздуха в воздуховоде 10 м/с. Воздуховод квадратного сечения (рисунок 3.5).

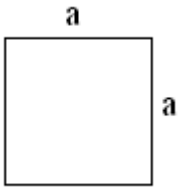


Рисунок 2.2 – Схема сечения воздуховода

Решение:

1. Выразим площадь сечения воздуховода из формулы 3.1:

$$F = \frac{L}{V \cdot 3600}, \qquad (3.9)$$

$$F = \frac{5500}{10 \cdot 3600} = 0{,}15 \text{ м}^2.$$

2. Так как сечение воздуховода квадратное, то длину стороны воздуховода рассчитаем по формуле:

$$a = \sqrt{F},$$

$$a = \sqrt{0{,}15} = 0{,}38 \text{ м}.$$

Ответ: длина стороны воздуховода равна 380 мм.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры устройства по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Изучить методику расчета параметров.

4.2. Рассчитать основные параметры. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой угол раскрытия вытяжного зонта рекомендуется?
2. При установке оборудования с вытяжным зонтом, в каком месте расчетная производительность вентилятора будет минимальной при прочих равных условиях?
3. Напишите формулу, для определения расчетной производительности вытяжного зонта для гальванической ванны.
4. Для улавливания потоков вредных выделений, направленных вверх, что рекомендуется использовать?
5. Что используется для удаления увлекаемых тепловыми струями вредных веществ, когда более полное укрытие источника вредных выделений невозможно по условиям производства?
6. Где происходит наиболее эффективное улавливание паров и газов бортовым отсосом?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

3. Удаление пыли и стружки от оборудования, очистка воздуха от пыли

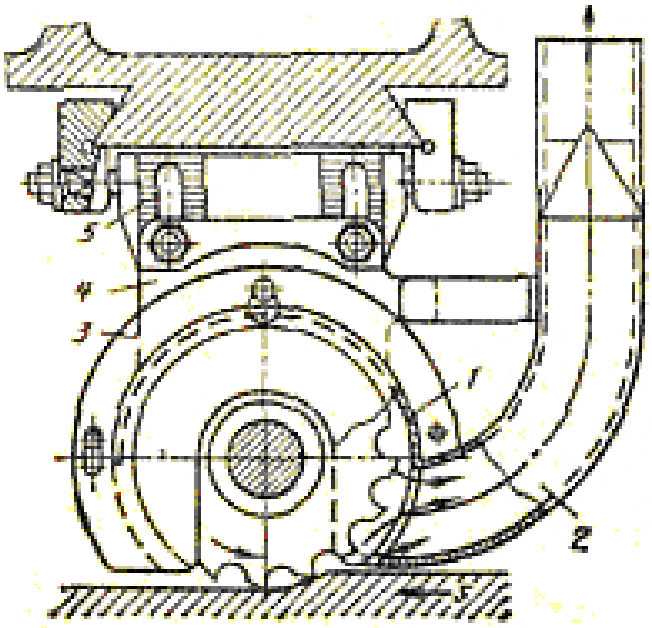
1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет параметров местных отсосов для удаления пыли и стружки.

Задачи работы: изучить методику расчета параметров местных отсосов для удаления пыли и стружки.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Пылестружкоприемники металлообрабатывающих станков располагают навстречу потоку стружек и пыли на расстоянии от зоны резания не более половины ее высоты. Для удаления стружки и пыли при отрезке труб и стержней из хрупких цветных сплавов и неметаллических материалов на токарных станках пылестружкоприемники встраивают в державки режущего инструмента, либо применяют пылестружкоприемники, совмещенные с режущим инструментом.



1 – корпус пылестружкоприемника; 2 – приемный патрубок; 3 – съемная крышка;

4 – подвеска; 5 – направляющая пластина

Рисунок 2.1 – Пылестружкоприемник для горизонтально-фрезерных станков

2.1 Примеры расчета параметров устройств для непрерывного удаления пыли и стружки, циклонов и фильтров

Задача 1

При токарной обработке обрабатывается изделие из чугуна, диаметр заготовки 20 мм, число оборотов шпинделя станка 3000 об/мин, глубина резания 1 мм, скорость подачи 0,5 мм/об. Определить объём стружки.

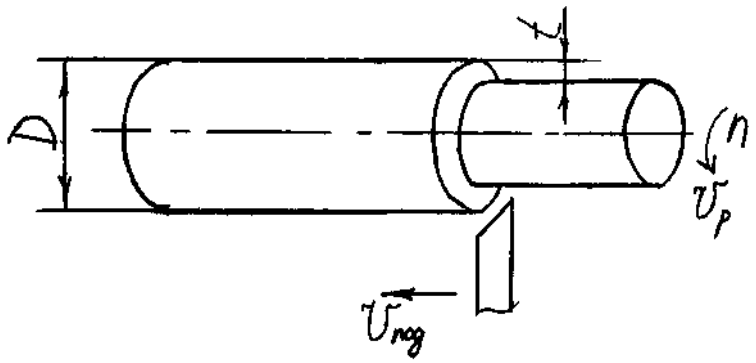


Рисунок 1 – Токарная обработка чугунного изделия

Решение

1. Определяем объем стружки, выделяющейся в секунду:

$$V_{стр}=t\cdot\pi\cdot D\cdot l\,, \qquad (1.1)$$

где $V_{стр}$- объём стружки, мм^3/с;

t – глубина резания, мм;

D - диаметр заготовки, мм;

l – путь резца за 1 секунду, мм/с.

2. Определяем путь резца:

$$l_р=\frac{n\cdot\upsilon_п}{60}\,, \qquad (1.2)$$

где n – число оборотов ротора, об/мин;

$\upsilon_п$ – скорость подачи, мм/об.

$$l_р=\frac{3000\cdot 0{,}5}{60}=25 \text{ мм/с},$$

$$V_{стр}=1\cdot 3{,}14\cdot 20\cdot 25=1570 \text{ мм}^3\text{/с}.$$

Ответ: $V_{стр}$=1570 мм^3/с.

Задача 2

При фрезерной обработке в изделии из чугуна вырезается участок, его ширина 10 мм, глубина 30 мм, скорость подачи 0,1 см/с. Скорость резания $\upsilon_р$=0,8 м/с. Определить объём стружки, выделяющейся за одну секунду.

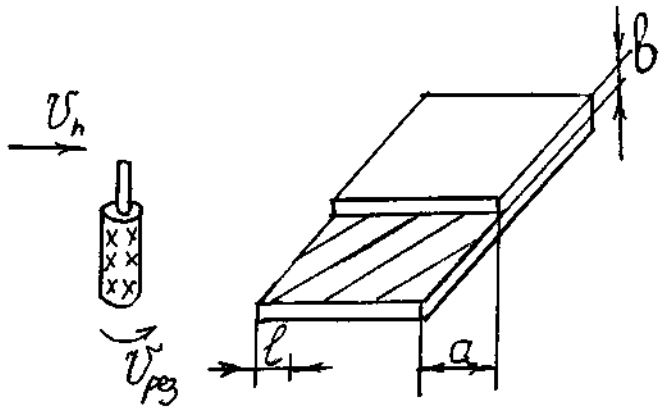


Рисунок 2 – Фрезерная обработка чугунного изделия

Решение

1. Определяем объем стружки, выделяющейся за одну секунду:

$$V_{стр}=a\cdot b\cdot l\,, \qquad (1.3)$$

где $V_{стр}$- объём стружки, мм^3/с;

a - ширина резания, мм;

b - глубина резания

l – путь резца за 1 секунду, мм/с.

$$l=\upsilon_п$$

где $\upsilon_п$ – скорость подачи, мм/об.

$$L=0{,}1\cdot 10=1 \text{ мм/с},$$

$$V_{стр}=10\cdot 30\cdot 1=300 \text{ мм}^3/\text{с}.$$

Ответ: $V_{стр}$=300 мм^3/с.

Задача 3

Распиливается деревянная доска дисковой пилой, ширина доски 400 мм, число оборотов пилы 3000 об/мин, скорость подачи 2 см/с, толщина доски 50 мм, ширина пропила 5 мм. Определить объём стружки, выделяющейся за одну секунду.

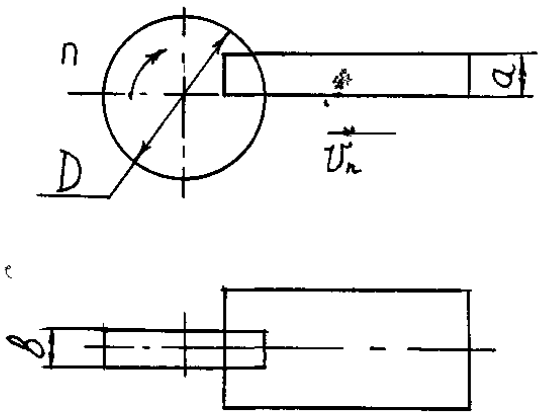


Рисунок 3 – Распиливание деревянной доски дисковой пилой

Решение

1. Определяем объем стружки, выделяющейся за одну секунду

$$V_{стр} = a \cdot b \cdot \upsilon_п,$$

где $V_{стр}$- объём стружки, мм^3/с;

a - толщина доски, мм;

b - ширина пропила, мм;

$\upsilon_п$ – скорость подачи, мм/с,

$$V_{стр} = 50 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 10 = 5000 \text{ мм}^3/\text{с}.$$

Ответ: $V_{стр}$=5000 мм^3/с.

Задача 4

При токарной обработке обрабатывается изделие из чугуна диаметром 30 мм, глубина резания 0,5 мм, скорость подачи 0,5 мм/об, скорость резания 3 м/с. Продолжительность смены $\tau_{см}$ = 8 ч, коэффициент машинного времени $\tau_{маш} = 0{,}2$. Плотность чугунной пыли равняется 2,6 г/см^3. Пыль удаляется с помощью местного отсоса, диаметр воздуховода 100 мм, скорость воздуха в воздуховоде 20 м/с. Известен фракционный состав пыли.

Размер частиц пыли, мкм	<10	10,1…100	>100
Состав пыли, %	4	6	90
% пылеулавливания циклона	15	90	100

Система очистки пыли имеет две ступени. Грубая очистка производится циклоном, где пыль оседает в бункере, который чистится один раз в смену. После циклона пыль проходит тонкую очистку, которая производиться рукавными фильтрами. Площадь рукавного фильтра составляет 6 м^2. Процент пылеулавливания равен 99,5%. Максимальное количество пыли, удерживаемое на фильтре равно 0,2 кг/м^2. Очищенный воздух поступает в общеобменную вентиляцию.

Определить объем бункера для циклона, при котором за смену заполнение будет на 50 % объема, и время заполнения рукавного фильтра пылью (время через которое необходимо встряхивать рукавный фильтр).

Решение

1. Определим объем стружки, выделяющийся за одну секунду:

$$V_{стр} = t \cdot \pi \cdot D \cdot l,$$

где $V_{стр}$- объём стружки, мм^3/с;

t – глубина резания, мм;

D - диаметр заготовки, мм;

l – путь резца за 1 секунду, мм/с,

$$l = \frac{n \cdot \upsilon_п}{60},$$

где n – число оборотов ротора, об/мин;

$\upsilon_п$ – скорость подачи, мм/об;

Скорость резания определяется по формуле

$$\upsilon_{рез} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}, \qquad (1.4)$$

где $\upsilon_{рез}$ – скорость резания, м/с;

n – число оборотов ротора, об/мин,

Выразим из формулы 1.3 число оборотов ротора и подставим в 1.2:

$$n = \frac{60 \cdot V_{рез} \cdot 1000}{\pi \cdot D},$$

$$l = \frac{60 \cdot \upsilon_{рез} \cdot \upsilon_{п}}{\pi \cdot D \cdot 60} = \frac{\upsilon_{рез} \cdot \upsilon_{п}}{\pi \cdot D}$$

Отсюда объем стружки, выделяющийся за одну секунду равен

$$V_{стр} = t \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{\upsilon_{рез} \cdot \upsilon_{п}}{\pi \cdot D} = t \cdot \upsilon_{рез} \cdot \upsilon_{п},$$

$$V_{стр} = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 3000 = 750 \text{ мм}^3/\text{с}.$$

2. Определим массу стружки, выделяющейся за 1 секунду:

$$m_{стр} = \rho \cdot V_{стр} \cdot 10^{-9}, \qquad (1.5)$$

где ρ - плотность материала, кг/см^3;

$V_{стр}$ - объём стружки, мм^3/с;

$m_{стр}$ – масса стружки, выделяющейся в единицу времени, кг/с,

$$m_{стр} = 7{,}87 \cdot 10^3 \cdot 750 \cdot 10^{-9} = 5{,}9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

3. Определим количество пыли, оседающее в циклоне с учетом размера частиц, состава пыли и процентом пылеулавливания циклона:

для частиц пыли размером менее 10 мкм

$$Q_{цикл} = \frac{m_{стр} \cdot 4 \cdot 15}{100 \cdot 100} = \frac{5{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 15}{100 \cdot 100} = 0{,}0354 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с};$$

для частиц пыли размером от 10,1 мкм до 100 мкм

$$Q_{цикл} = \frac{5{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 90}{100 \cdot 100} = 0{,}32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с};$$

для частиц пыли размером более 100 мкм

$$Q_{цикл} = \frac{5{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 90 \cdot 100}{100 \cdot 100} = 5{,}31 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с};$$

$$Q_{цикл\ сумм} = 5{,}67 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

4. Определяем массу пыли, образующейся при работе станка в течение одной смены:

$$m_{пыли} = Q_{циклсумм} \cdot \tau_{маш} \cdot 3600, \qquad (1.6)$$

$$\tau_{маш} = 0{,}2 \cdot \tau_{см},$$

где $\tau_{см}$ - время одной смены, ч;

$\tau_{маш}$- время работы станка, ч;

$m_{пыли}$ - массу пыли, образующейся при работе станка в течение одной смены, кг,

$$\tau_{маш} = 0{,}2 \cdot 8 = 4 \text{ ч}$$

$$m_{пыли} = 5{,}67 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 3600 = 81{,}7 \text{ кг/сут.}$$

5. Определим объём бункера циклона:

$$V_{бунк} = \frac{m_{пыли}}{\rho_{чуг.пыли}} \cdot K_з, \qquad (1.7)$$

где $\rho_{пыли}$ – плотность чугунной пыли в бункере, кг/м^3;

$K_з$ – коэффициент запаса по наполняемости бункера,

$$V_{бунк} = \frac{81{,}7}{2600} \cdot 2 = 0{,}063 \text{ м}^3 = 63 \text{ л.}$$

6. Определим время загрузки рукавного фильтра пылью:

$$\tau_{загр} = \frac{F_ф \cdot A}{m_{стрф} \cdot k_з}, \qquad (1.8)$$

где $F_ф$ – площадь рукавного фильтра, м^2;

A – масса пыли, удерживающаяся на 1 м^2 фильтра, кг/м^2;

$m_{стр\ ф}$ – масса стружки, попадающая на фильтр, кг:

$k_з$ – коэффициент загрузки.

$$m_{стр\ ф} = m_{стр} - Q_{цикл\ сумм} = 5{,}9 \cdot 10^{-3} - 5{,}67 \cdot 10^{-3} = 0{,}23 \cdot 10^{-3} \text{ кг/сут,}$$

$$\tau_{загр} = \frac{6 \cdot 0{,}2}{0{,}23 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}7} = 7453 \text{ с} = 124 \text{ мин.}$$

Ответ: $V_{бунк}$ = 63 л, $\tau_{загр}$ = 124 мин. Встряхивать рукавный фильтр необходимо через каждые два часа.

Задача 5

При работе фрезерного станка 99,9 % пыли улавливается рукавным фильтром. Количество пыли, поступающее на рукавный фильтр равно $0{,}03 \cdot 10^{-3}$

кг/с, воздух всасывается со скоростью 25 м/с и проходит по воздуховоду диаметром 8 см^2. Определить концентрацию пыли в воздухе, выбрасываемую из вентиляции в атмосферу цеха.

Решение

1. Определим концентрацию пыли в воздухе, выбрасываемой из местной вентиляции в атмосферу цеха:

$$C_{пыли} = \frac{Q_{атм} \cdot 1000 \cdot 3600}{L_{возд}}, \qquad (1.9)$$

где $C_{пыли}$ – концентрация пыли, выбрасываемая местной вентиляцией в атмосферу цеха, мг/м^3;

$Q_{атм}$ – количество пыли, выбрасываемое в атмосферу цеха местной вентиляцией, г/с;

$L_{возд}$ – количество воздуха, необходимое для удаления пыли, м^3/ч.

2. Определим количество пыли, выбрасываемое в атмосферу цеха:

$$Q_{атм} = m_{рук.фил} \cdot (1 - \eta) \cdot 1000, \qquad (1.10)$$

где $m_{рук.фил}$ – количество пыли, поступающее на рукавный фильтр, кг/с;

η - коэффициент пылеулавливания фильтра,

$$Q_{атм} = 0{,}03 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0{,}999) \cdot 1000 = 0{,}03 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}.$$

3. Определим количество воздуха, проходящего в местной вентиляции за единицу времени:

$$L_{возд} = F_{возд} \cdot \upsilon_{тр} \cdot 3600, \qquad (1.11)$$

где $F_{возд}$ – площадь воздуховода, м^2;

$\upsilon_{тр}$ – скорость воздуха в воздуховоде, м/с,

$$F_{возд} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \qquad (1.12)$$

где D – диаметр воздуховода, м,

$$F_{возд} = \frac{3{,}14 \cdot (0{,}08)^2}{4} = 0{,}005 \text{ м}^2,$$

$$L_{возд} = 0{,}005 \cdot 25 \cdot 3600 = 452 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$C_{пыли} = \frac{0{,}03 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 \cdot 3600}{452} = 0{,}24 \text{ мг/м}^3.$$

Ответ: $C_{пыли}$ = 0,24 мг/м^3.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры устройства по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров.

4.2. Рассчитать основные параметры. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На токарном станке обрабатывается чугунная заготовка диаметрам 20 мм. Число оборотов шпинделя 3000 об/мин, скорость подачи 0,5 мм/об. Определить путь резца за 1 секунду.
2. По какой формуле определяется объем стружки образующейся в единицу времени при токарной обработке?
3. Скорость витания частиц пыли выбирается из справочника в зависимости от каких факторов?
4. По какой формуле определяется объем стружки, образующейся в единицу времени, при фрезеровании?
5. По какой формуле определяется объем стружки, образующейся в единицу времени при распиловке досок дисковой пилой?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

"Расчет параметров вытяжного зонта"

2.1 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ВЫТЯЖНЫХ ЗОНТОВ

Задача 1

Гальваническая ванна имеет размеры a = 0,6 м, b = 1 м, высота ванны h=0,8 м. Вытяжной зонт имеет размеры A = 1,2 м, B = 1,6 м, высота установки зонта H = 2 м. Ванна находится в центре помещения. Скорость воздуха в проеме 0,3 м/с. Определить производительность вентилятора зонта, $м^3$/ч.

Решение:

1. Определим расстояния l_1 по формуле (1.1) и l_2 по формуле (1.2) (l_1 и l_2 см. рисунок 1.1):

$$l_1 = \sqrt{\left(\frac{B-b}{2}\right)^2 + \left(H-h\right)^2}, \qquad (1.1)$$

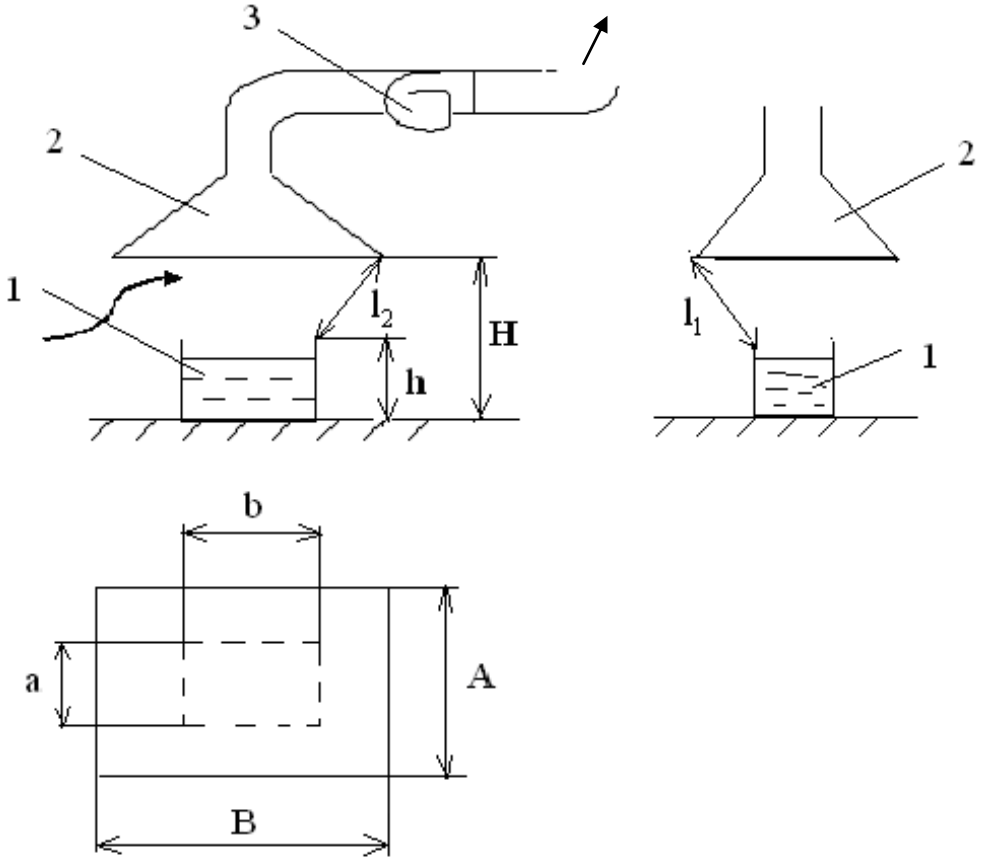
$$l_2 = \sqrt{\left(\frac{A+a}{2}\right)^2 + \left(H-h\right)^2}, \qquad (1.2)$$

где l_1, l_2 – расстояние от края ванны до края вытяжного зонта, м;

A, a – ширина вытяжного зонта и ванны, соответственно, м;

B, b – длина вытяжного зонта и ванны, соответственно, м;

H, h – высота установки вытяжного зонта и высота ванны, соответственно, м,



1 – гальваническая ванна; 2 – вытяжной зонт; 3 - вентилятор

Рисунок 1.1 – Схема установки вытяжного зонта
над гальванической ванной

$$l_1 = \sqrt{\left(\frac{1,6-1}{2}\right)^2 + (2-0,8)^2} = 1,24\,\text{м},$$

$$l_2 = \sqrt{\left(\frac{1,2-0,6}{2}\right)^2 + (2-0,8)^2} = 1,24\,\text{м}.$$

2. Определим суммарную площадь проема между верхним краем ванны и вытяжным зонтом:

$$F_{пр} = l_1\left(\frac{B+b}{2}\right)\cdot 2 + l_2\left(\frac{A+a}{2}\right)\cdot 2, \qquad (1.3)$$

где $F_{пр}$ - суммарная площадь проема между верхним краем ванны и вытяжным зонтом, м^2,

$$F_{пр} = 1,24\left(\frac{1,6+1}{2}\right)\cdot 2 + 1,24\left(\frac{1,2+0,6}{2}\right)\cdot 2 = 5,46 \text{ м}^2.$$

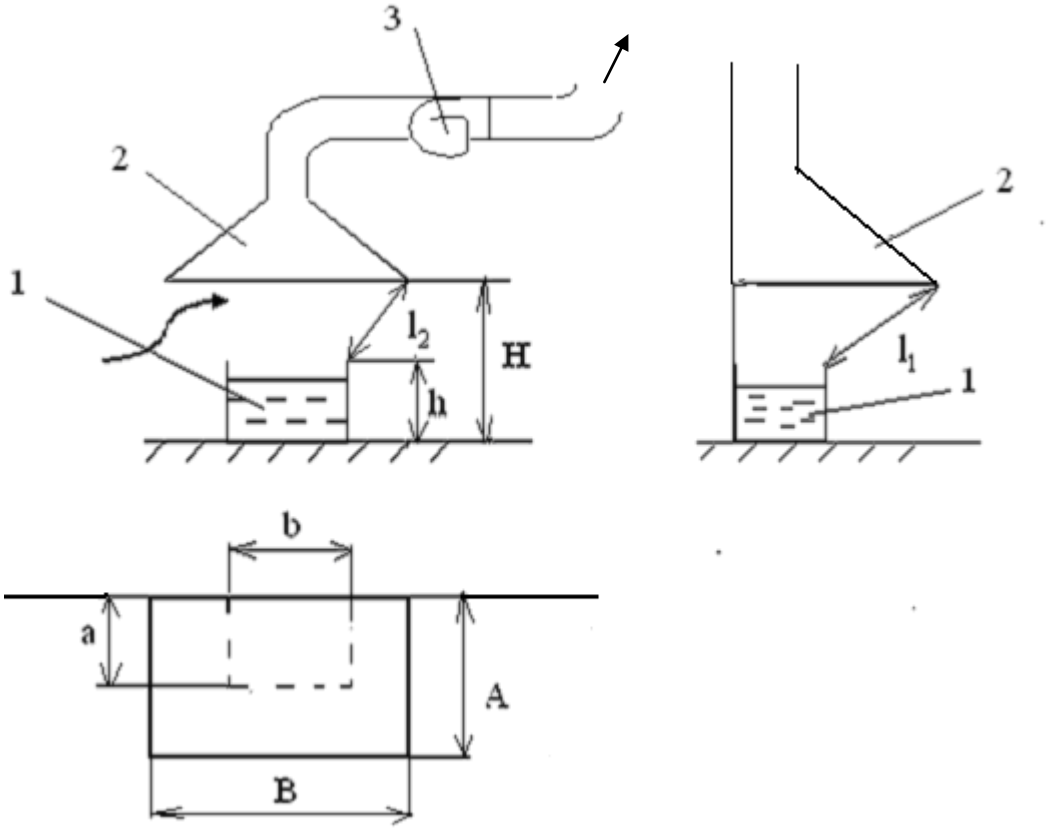
3. Определим количество воздуха, которое должен удалять вытяжной зонт, по формуле 1:

$$L = 5,46 \cdot 0,3 \cdot 3600 = 5900 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Ответ: производительность зонта равна 5900 м^3/ч.

Задача 3

Гальваническая ванна, установленная в помещении размерами 6x10x5 м возле стены, ванна имеет размеры a = 0,6 м, b = 0,8 м, высота ванны h = 0,8 м. Вытяжной зонт имеет размеры A = 0,9 м, B = 1,4 м, высота установки зонта над полом H = 2,2 м (рисунок 3.3). Скорость воздуха в проеме между ванной и зонтом 0,4 м/с. Определить производительность вентилятора зонта, м^3/ч.



1 – гальваническая ванна; 2 – вытяжной зонт; 3 - вентилятор

Рисунок 1.2 – Схема местной вытяжной вентиляции

Решение:

1. Определим расстояния l_1 по формуле 3 и l_2 по формуле 3.5 (l_1 и l_2 см. рисунок 3.3):

$$l_2 = \sqrt{(A-a)^2 + (H-h)^2}, \qquad (1.4)$$

где l_2 – расстояние от края ванны до края вытяжного зонта, м;
A, a – ширина вытяжного зонта и ванны, соответственно, м;
B, b – длина вытяжного зонта и ванны, соответственно, м;
H, h – высота установки вытяжного зонта и высота ванны, соответственно, м.

$$l_1 = \sqrt{\left(\frac{1,4-0,8}{2}\right)^2 + (2,2-0,8)^2} = 1,43\text{м},$$

$$l_2 = \sqrt{(0,9-0,6)^2 + (2,2-0,8)^2} = 1,43\text{м}.$$

2. Определим суммарную площадь проема между верхним краем ванны и вытяжным зонтом по формуле:

$$F_{пр} = l_1\left(\frac{B+b}{2}\right)\cdot 1 + l_2\left(\frac{A+a}{2}\right)\cdot 2, \qquad (1.5)$$

где $F_{пр}$ - суммарная площадь проема между верхним краем ванны и вытяжным зонтом, м^2,

$$F_{пр} = 1,43\left(\frac{1,4+0,8}{2}\right) + 1,43\left(\frac{0,9+0,6}{2}\right)\cdot 2 = 3,72\,\text{м}^2.$$

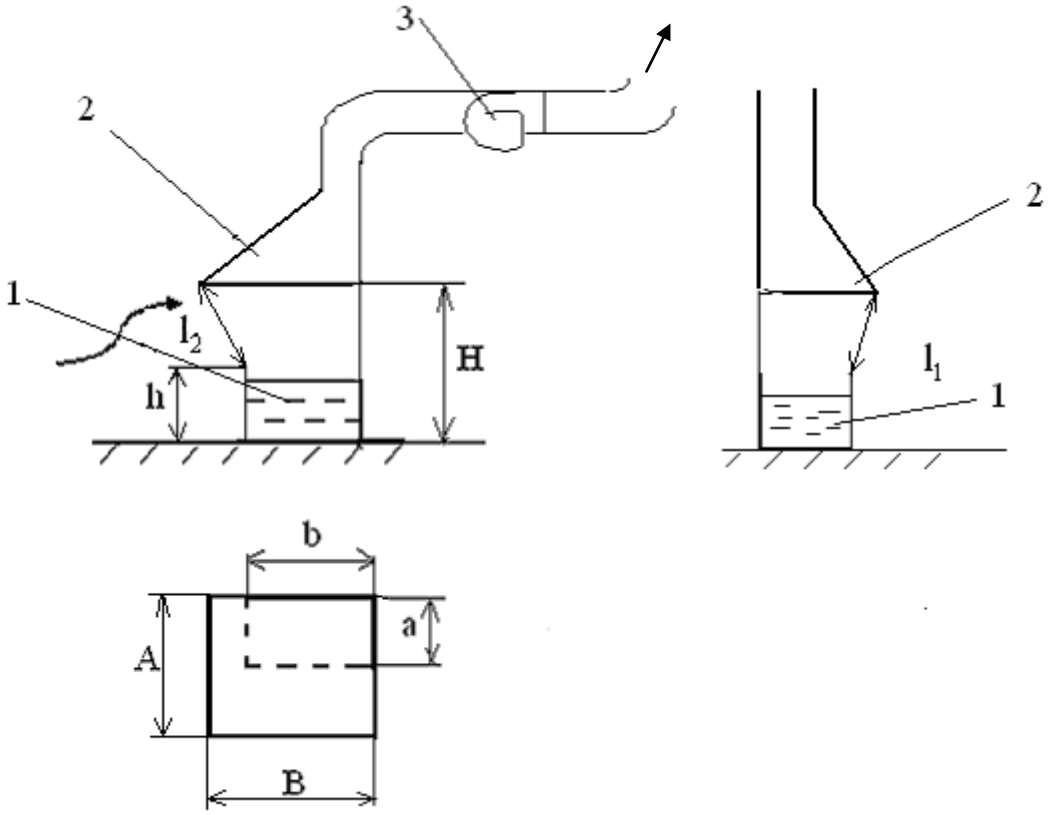
3. Определим количество воздуха, которое должен удалять вытяжной зонт по формуле 3.1:

$$L = 3,72\cdot 0,4\cdot 3600 = 5360\ \text{м}^3/\text{ч}.$$

Ответ: производительность зонта равна 5360 м^3/ч.

Задача 4

Гальваническая ванна, установленная в углу помещения 10х20х6 м, имеет размеры a = 0,5 м, b = 1,0 м, высота ванны h = 0,8 м. Вытяжной зонт имеет размеры A = 0,8 м, B = 1,3 м, высота установки зонта H = 2,2 м. Скорость воздуха в проеме 0,5 м/с. Определить производительность вытяжного зонта, $м^3$/ч.



1 – гальваническая ванна; 2 – вытяжной зонт; 3 - вентилятор

Рисунок 1.3 – Схема местной вытяжной вентиляции

Решение:

1. Определим расстояния l_1 по формуле (1.6) и l_2 по формуле (1.4) (l_1 и l_2 см. рисунок 1.3):

$$l_1 = \sqrt{(B-b)^2 + (H-h)^2}, \qquad (1.6)$$

где l_1 – расстояние от края ванны до края вытяжного зонта, м;

A, a – ширина вытяжного зонта и ванны, соответственно, м;

B, b – длина вытяжного зонта и ванны, соответственно, м;

H, h – высота установки вытяжного зонта и высота ванны, соответственно, м,

$$l_1 = \sqrt{(1,3-1)^2 + (2,2-0,8)^2} = 1,43\text{м},$$

$$l_2 = \sqrt{(0,8-0,5)^2 + (2,2-0,8)^2} = 1,43\text{м}.$$

2. Определим суммарную площадь проема между верхним краем ванны и вытяжным зонтом по формуле:

$$F_{пр} = l_1\left(\frac{B+b}{2}\right)\cdot 1 + l_2\left(\frac{A+a}{2}\right)\cdot 1, \qquad (1.7)$$

где $F_{пр}$ - суммарная площадь проема между верхним краем ванны и вытяжным зонтом, м^2,

$$F_{пр} = 1,43\left(\frac{1,3+1}{2}\right)\cdot 1 + 1,43\left(\frac{0,8+0,5}{2}\right)\cdot 1 = 2,57\,\text{м}^2.$$

3. Определим количество воздуха, которое должен удалять вытяжной зонт по формуле 1:

$$L = 2,57 \cdot 0,5 \cdot 3600 = 4630 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Ответ: производительность зонта равна 4630 м^3/ч.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры устройства по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров.

4.2. Рассчитать основные параметры. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой угол раскрытия вытяжного зонта рекомендуется?
2. При установке оборудования с вытяжным зонтом, в каком месте расчетная производительность вентилятора будет минимальной при прочих равных условиях?
3. Напишите формулу для определения расчетной производительности вытяжного зонта для гальванической ванны.
4. Для улавливания потоков вредных выделений, направленных вверх, что рекомендуется использовать?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

"Проектирование общего искусственного освещения"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет освещения.
Задачи работы: изучить методику расчета освещения.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Примеры расчета освещения от точечных источников

Задача 1

В помещении расположены три источника света (точки В, С, Р) на расстоянии 5 м друг от друга и 8 м. Высота источников света от пола составляет 8 м. Сила света каждого источника равна 5000 кд. Найти освещенность в точке А, под средней лампой (рисунок 7.1).

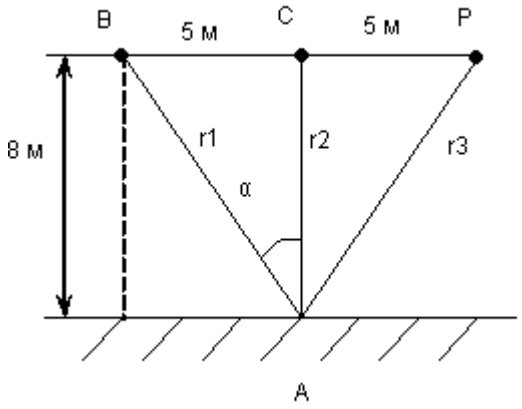


Рисунок 1.1 – Схема расположения ламп

Решение:

Освещенность определяется по формуле

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{r^2},$$

где E – освещенность, лк;
I – сила света, кд;

Cos α – косинус угла направления луча света относительно нормали к рабочей поверхности (пол);

r – расстояние от источника света до расчетной точки, м.

1. Определим освещенность в точке А от источника света В:

$$E_B = \frac{I_B \cdot \cos\alpha}{r_1^{\,2}},$$

где E_B – освещенность в точке А от источника света В, лк;

I_B – сила света от источника света В, кд;

cosα – косинус угла направления луча света относительно нормали к рабочей поверхности, то есть косинус угла ВАС;

r_1 – расстояние от источника света В до точки А, м.

Найдем r_1 из треугольника ВСА (прямоугольный, так как СА перпендикулярна ВР):

По теореме Пифагора $BA^2 = BC^2 + AC^2$,

$$r_1 = BA = \sqrt{BC^2 + AC^2},$$

$$r_1 = \sqrt{5^2 + 8^2} = 9{,}4 \text{ м}$$

$$\cos\alpha = \frac{AC}{BA},$$

$$\cos\alpha = \frac{8}{9{,}4} = 0{,}85,$$

$$E_B = \frac{5000 \cdot 0{,}85}{9{,}4^2} = 51 \text{ лк.}$$

2. Определим освещенность в точке А от источника света С:

$$E_C = \frac{I_C \cdot \cos\alpha}{r_2^{\,2}},$$

где E_C – освещенность в точке А от источника света С, лк;

I_C – сила света от источника света С, кд;

r_2 – расстояние от источника света С до точки А, м,

$\cos 0^0 = 1$,

$$E_C = \frac{5000 \cdot \cos 0^0}{8^2} = 78 \text{ лк.}$$

3. Определим освещенность в точке А от источника света Р:

так как Δ ВСА подобен Δ СРА. то $r_1=r_3$ и $E_1=E_3$

$$E_P = 51 \text{ лк.}$$

4. Найдем общую освещенность от трех источников света в точке А:

$$E = E_B + E_C + E_P,$$

$$E = 51 + 78 + 51 = 180 \text{ лк.}$$

Ответ: Е = 180 лк.

2 Расчет общего искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока

Задача 2

В компьютерном зале размерами 8×6×4 м расположены столы высотой 0,8 м. Высота подвеса светильников от потолка 0,1 м. Нормативное значение освещенности 300 лк. Коэффициент использования светового потока 0,6, коэффициент запаса 1,3, коэффициент неравномерности света 1,1. Требуется нарисовать схему расположения светильников на потолке и выбрать лампы.

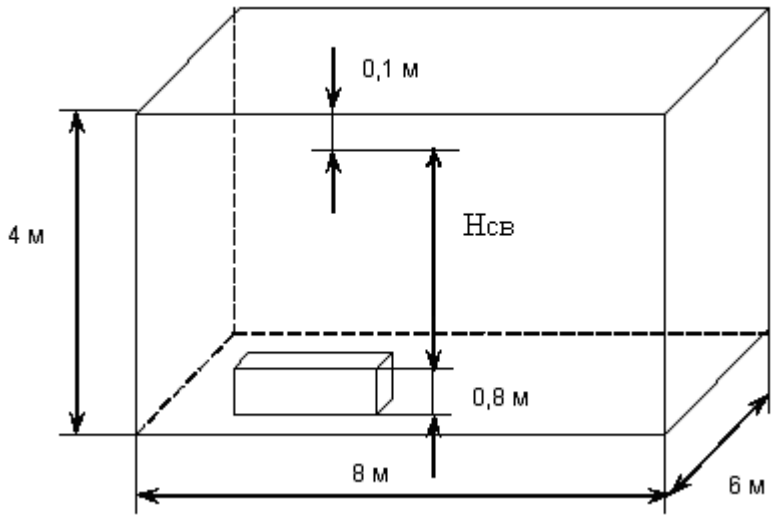


Рисунок 2.1 – Схема компьютерного зала

1. Предложим расположение светильников на потолке помещения:

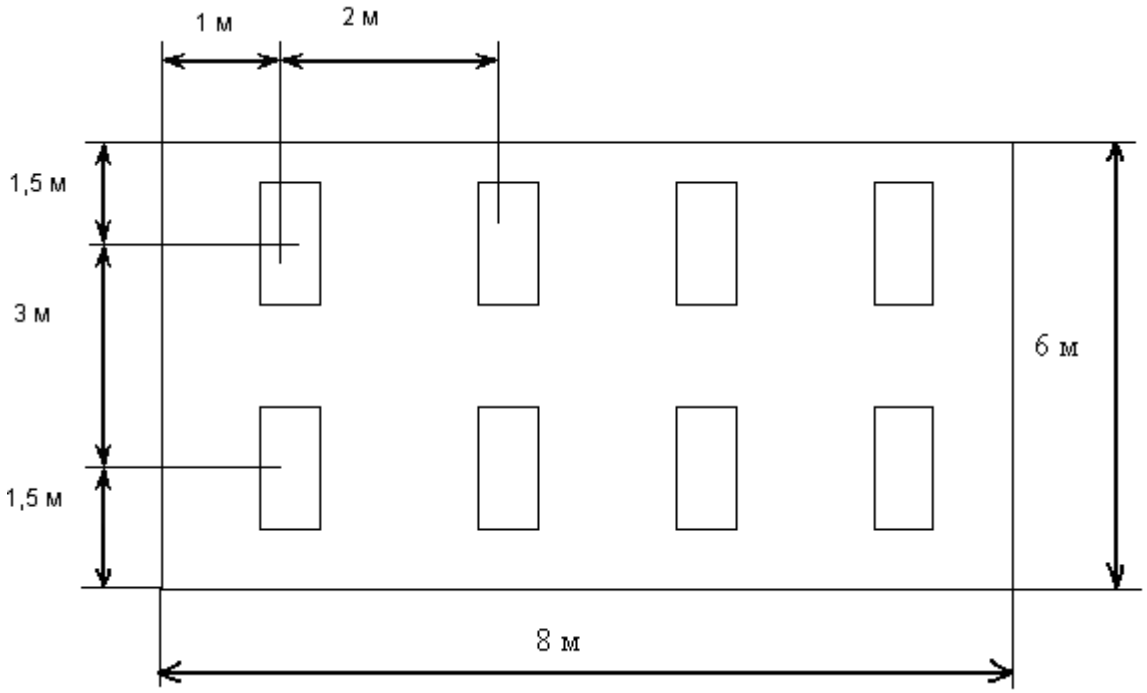


Рисунок 2.2 - Схема расположения светильников в помещении

2. Рассчитаем световой поток для восьми светильников в помещении цеха:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_з \cdot z}{N \cdot \eta},$$

где Ф – световой поток, лм;

E – нормативное значение освещенности, лк;

S – площадь помещения, м^2;

$K_З$ – коэффициент запаса, учитывающий снижение светового потока за счет запыленности светильника;

z – коэффициент неравномерности освещения;

N – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока.

Найдем площадь помещения:

$$S = 8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2,$$

тогда

$$\Phi_1 = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}1}{8 \cdot 0{,}6} = 4290 \text{ лм.}$$

3. Предположим, что каждый светильник имеет одну лампу. По таблице 1 выбираем марку ламп:

Таблица 1

Люминесцентные лампы	
Тип	Световой поток, лм
ЛДЦ-20	820
ЛД-20	920
ЛБ-20	1180
ЛДЦ-40	2100
ЛД-40	2340
ЛБ-40	3120
ЛДЦ-80	3740
ЛД-80	4070

Примем лампы марки ЛД-80 со значением светового потока 4070 лм.

4. Рассчитаем отклонение потока выбранной лампы от расчетного значения:

$$\Delta = \frac{\Phi_{\text{табл}} - \Phi}{\Phi_{\text{табл}}} \cdot 100,$$

где $\Phi_{\text{табл}}$ – табличное значение светового потока, лм;

Φ – расчетное значение светового потока, лм;

Δ – отклонение потока, %,

$$\Delta = \frac{4070 - 4290}{4070} \cdot 100 = -5{,}4\ \%.$$

Допускается отклонение потока выбранной лампы от расчетного до –10% и +20%. В противном случае необходимо изменить планировку светильников.

Лучше принять светильники с двумя лампами ЛД-40, тогда световой поток от светильника $\Phi_1 = 2\Phi_{ЛД40} = 2 \cdot 2340 = 4680$ лм.

$$\Delta = \frac{4680 - 4290}{4290} \cdot 100 = 9\ \%.$$

Ответ: 8 светильников с двумя лампами ЛД-40.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры освещения по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров освещения.

4.2. Рассчитать основные параметры освещения. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Помещение цеха имеет размеры 20×60 м. Общее искусственное освещение осуществляется светильниками, расположенными на высоте 10 м. Каким методом следует выполнять расчет освещения?
2. Производственное помещение имеет размеры 8×20 м. Светильники подвешиваются на потолке на высоте 6 м. Каким методом следует выполнять расчет общего искусственного освещения?
3. В цехе, имеющем размеры 20×60 м и высоту 12 м. Колонны расположены на расстоянии 6 м друг от друга. Где следует располагать светильники общего искусственного освещения?
4. Какой фактор не учитывается при расчете общего искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока?
5. Какой фактор не учитываются при расчете общего искусственного освещения точечным методом?
6. Какие параметры учитывается при расчете общего искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока?
7. По какой формуле определяется световой поток светильника?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

"Расчет общеобменной вентиляции по теплоизбыткам"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет параметров общеобменной вентиляции при наличии теплоизбытков.

Задачи работы: изучить методику расчета параметров общеобменной вентиляции при наличии теплоизбытков.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Удаление избыточного тепла из помещения обеспечивается за счет притока свежего воздуха, его нагрева и выброса нагретого воздуха. Количество приточного воздуха может быть определено по формуле:

$$L_{пр} = \frac{Q_{изб}}{C \cdot p \cdot (t_{вых} - t_{пр})}, \qquad (2.1)$$

где $L_{пр}$ - количество приточного воздуха, необходимого для удаления тепла, $м^3/ч$;

$Q_{изб}$ - избыточное тепловыделение, кДж/ч;

C - теплоемкость воздуха, кДж/(кг ^{0}C);

p - плотность приточного воздуха, $кг/м^3$;

$t_{вых}$ - температура воздуха, выходящего из помещения, ^{0}C;

$t_{пр}$ - температура приточного воздуха , ^{0}C;

Температура воздуха, выходящего из помещения, определяется по эмпирической формуле:

$$t_{вых} = t_{р.з.} + \Delta t(H - 2), \qquad (2.2)$$

где $t_{р.з.}$ - температура в рабочей зоне (принимается равной $t_{норм}$ по СанПиН 2.2.4.548 - 96), ^{0}C;

Δt - температурный градиент по высоте помещения (Δt = 0,5...1,5 ^{0}C/м);

H - расстояние от пола до центра вытяжных проемов (рисунок 2.2), м.

Температура приточного воздуха при наличии избыточного тепла должна быть на 5-8 ^{0}C ниже температуры воздуха в рабочей зоне. Если этого нельзя добиться (при $t_{нар}$ больше +20 ^{0}C), то необходимо применять кондиционеры.

Для выбора типа и количества кондиционеров, необходимо рассчитать количество воздуха, подаваемого в помещение, по формуле (2.1), где выражение ($t_{вых}$ - $t_{пр}$) необходимо заменить на ($t_{вых}$ - $t_{пр}$ - $\Delta t_{конд}$), то есть еще вычесть разность температур на входе и выходе кондиционера ($\Delta t_{конд}$ принимается 8…12 °C).

Расчетное количество $L_{пр}$ следует сравнивать с возможным притоком и выходом воздуха. При естественной вентиляции (аэрации) выброс воздуха происходит через верхние фонари. Приняв скорость выхода воздуха 0,5...1,5 м/с можно рассчитать количество воздуха, выбрасываемого в атмосферу по формуле:

$$L_{выбр} = V \cdot F \cdot 3600 , \qquad (2.3)$$

где $L_{выбр}$ - возможное количество воздуха, выбрасываемое из аэрационного фонаря, $м^3/ч$;

V - скорость воздуха через форточки или фрамуги, м/с;

F - суммарная площадь проемов в фонаре, $м^2$.

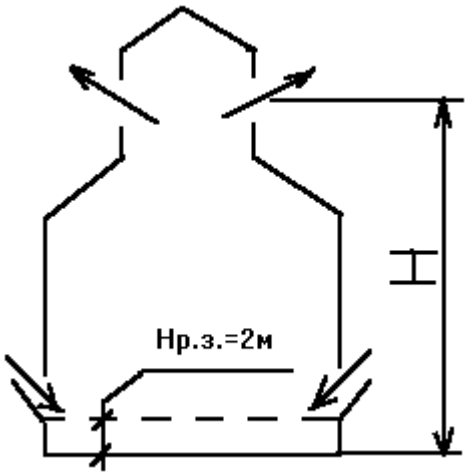


Рисунок 2.1 - Схема вентиляции помещения с источниками тепла

2.1 Примеры расчета необходимого воздухообмена для удаления теплоизбытков

Задача 1

В цехе располагается одна печь мощностью 20 кВт. Коэффициент, учитывающий тепловыделение от оборудования, равен 0,5. Какое количество тепла выделяет печь?

Решение:

Найдем интенсивность выделения тепла:

$$Q = 3600 \cdot k \cdot N, \qquad (1.1)$$

где Q – интенсивность выделения тепла, кДж/ч;

k – коэффициент, учитывающий тепловыделение от оборудования;

N – потребляемая мощность оборудования, кВт,

$$Q = 3600 \cdot 0{,}5 \cdot 20 = 36\,000 \text{ кДж/ч}.$$

Ответ: 36 000 кДж/ч.

Задача 2

Интенсивность выделения теплоты в цехе 36 000 кДж/ч. Расстояние от пола до центра вытяжных проемов 10 м. Температура приточного воздуха 20^0С. Температура в воздухе рабочей зоны 28^0С. Помещение цеха проветривается четырьмя форточками размерами 40 см×50 см. Воздух входит через две форточки и выходит через две форточки. Скорость движения воздуха 0,5 м/с. Произвести расчет воздухообмена помещения цеха и сделать соответствующие выводы.

Решение:

1. Определим, сколько воздуха будет проходить через естественную вентиляцию:

$$L_ф = 3600 \cdot F_ф \cdot \upsilon_ф, \qquad (1.2)$$

где $L_ф$ – количество воздуха, входящего в помещение через форточки, $м^3$/ч;

$F_ф$- площадь форточек (суммарная), $м^2$;

$\upsilon_ф$ – скорость воздуха, проходящего через форточки, м/с,

$$L_ф = 3600 \cdot 2 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5 = 720 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Определим количество воздуха, которое необходимо удалить из помещения в единицу времени,

$$L = \frac{Q_{изб}}{\rho \cdot c \cdot \left(t_{вых} - t_{пр}\right)}, \qquad (1.3)$$

где $Q_{изб}$ – количество тепла, выделяемого в помещение, кДж/ч;

L – количество воздуха, необходимого для удаления избытков тепла, $м^3$/ч;

ρ - плотность воздуха, кг/$м^3$;

с – теплоемкость воздуха, кДж/кг·^{0}С;

$t_{вых}$ – температура воздуха, выходящего из помещения, ^{0}С;

$t_{пр}$ – температура приточного воздуха, ^{0}С,

$$t_{вых} = t_{рз} + \Delta \cdot (H - 2), \qquad (1.4)$$

где $t_{вых}$– температура воздуха, выходящего из помещения, ^{0}С;

$t_{рз}$ – температура воздуха рабочей зоны, ^{0}С;

Н – расстояние от пола до аэрационного фонаря (или расстояние до центра вытяжных проемов), м;

Δ – температурный градиент по высоте помещения, ^{0}С/м, температура повышается по высоте помещения на 0,5…1,5 ^{0}С/м.

По формуле (1.4)

$$t_{вых} = 28 + 1 \cdot (10 - 2) = 36\,^0\text{С},$$

$$L = \frac{36000}{1{,}2 \cdot 1 \cdot (36 - 20)} = 1875\,м^3/ч.$$

Сравниваем полученные результаты:

$L_ф$ =720 $м^3$/ч, L=1875 $м^3$/ч и делаем вывод, что естественной вентиляции недостаточно.

В данном случае необходимо обеспечить механическую общеобменную вентиляцию, т.е. поставить в форточки вентилятор для вытяжки воздуха.

Можно уменьшить поступление тепла в помещение путем установки теплозащитных экранов. Если это невозможно, то следует применить местный отсос у печи, для удаления избытков тепла.

Задача 3

Необходимо обеспечить температуру в воздухе рабочей зоны 23^0С. Температура приточного воздуха 25^0С. Интенсивность выделения теплоты в цехе 36 000 кДж/ч. Расстояние от пола до центра вытяжных проемов 10 м. Разность температур на входе и выходе из кондиционера составляет 8 ^{0}С. Рассчитать необходимое количество воздуха подаваемого в помещение кондиционером.

Решение:

Определим количество воздуха удаляемого из помещения кондиционированием:

$$L_{конд} = \frac{Q_{изб}}{\rho \cdot c \cdot (t_{вых} - t_{пр} + \Delta t_{конд})}, \qquad (1.5)$$

где $L_{возд}$ - количество воздуха подаваемого в помещение кондиционером, $м^3$/ч;

$Q_{изб}$ – количество тепла, выделяемого в помещение, кДж/ч;

ρ - плотность воздуха, кг/$м^3$;

с – теплоемкость воздуха, кДж/кг·^{0}С;

$t_{вых}$ – температура воздуха, выходящего из помещения, ^{0}С;

$t_{пр}$ – температура приточного воздуха, ^{0}С.

$\Delta t_{конд}$ - разность температур на входе и выходе из кондиционера, ^{0}С,

$$t_{вых} = t_{рз} + \Delta \cdot (H - 2),$$

где $t_{вых}$– температура воздуха, выходящего из помещения, ^{0}С;

$t_{рз}$ – температура воздуха рабочей зоны, ^{0}С;

Н – расстояние от пола до аэрационного фонаря (или расстояние до центра вытяжных проемов), м;

Δ – температурный градиент по высоте помещения, ^{0}С/м.

Принимаем Δ = 1 ^{0}С/м, тогда

$$t_{вых} = 23 + 1 \cdot (10 - 2) = 31^0С.$$

По формуле (1.5)

$$L_{конд} = \frac{36000}{1{,}2 \cdot 1 \cdot (31 - 25 + 8)} = 2140 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Это значит, что необходимо взять кондиционер с производительностью L=2140 м^3/ч при разности температур на входе и выходе из кондиционера 8 ^{0}С.

Ответ: $L_{конд}$ = 2140 м^3/ч.

Задача 4

В помещении размером 8х20х15 м установлены три печи. Первая печь, мощностью 5 кВт, выделяет в помещение 10% тепла, вторая печь, мощностью 10 кВт, выделяет 20% тепла, третья печь, мощностью 20 кВт, выделяет 30 % тепла. Определить необходимый воздухообмен, если температура приточного воздуха 18 ^{o}С, а нормативное значение температуры рабочей зоны 28 ^{o}С. Плотность воздуха 1,2 кг/м^3, теплоемкость воздуха
1 кДж/(кг·^{o}С), температурный градиент по высоте помещения 1 ^{o}С/м.

Решение:

1. Необходимый воздухообмен в помещении определяется по формуле:

$$L = \frac{Q_{изб}}{\rho \cdot c(t_{вых} - t_{пр})},$$

где L – количество воздуха, необходимое для удаления избытков тепла из помещения, м^3/ч;

$Q_{изб}$ – количество тепла, выделяемое от оборудования, кДж/ч;

ρ – плотность воздуха, кг/м^3;

с – теплоемкость воздуха, кДж/(кг · ^{o}С);

$t_{вых}$ – температура воздуха выходящего из помещения, ^{o}С;

$t_{пр}$ – температура приточного воздуха, ^{o}С.

2. Количество тепла, выделяемое от оборудования, определим по формуле:

$$Q_{изб} = 3600 \cdot N \cdot K,$$

где N – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

К – коэффициент, учитывающий тепловыделение от оборудования,

$$Q_{1печи} = 3600 \cdot 5 \cdot 0{,}1 = 1800 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{2печи} = 3600 \cdot 10 \cdot 0{,}2 = 7200 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{3печи} = 3600 \cdot 20 \cdot 0{,}3 = 21600 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{изб} = \sum Q_{печей} = 1800 + 7200 + 21600 = 30600 \text{ кДж/ч.}$$

3. Температуру воздуха, выходящего из помещения, определим по формуле:

$$t_{вых} = t_{рз} + \Delta(H - 2),$$

где $t_{рз}$ – допустимое нормируемое значение температуры в рабочей зоне, ^{o}C;

Δ - температурный градиент по высоте помещения, ^{o}C/м;

H – высота от пола до вытяжных решеток, м,

$$t_{вых} = 28 + 1(15 - 2) = 41 \ ^{o}\text{C}.$$

Таким образом, необходимый воздухообмен равен:

$$L = \frac{30600}{1,2 \cdot 1(41 - 18)} = 1100 \text{ м}^3\text{/ч.}$$

Ответ: необходимый воздухообмен равен 1100 м^3/ч.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры общеобменной вентиляции при наличии теплоизбытков.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров общеобменной вентиляции при наличии теплоизбытков.

4.2. Рассчитать основные параметры общеобменной вентиляции при наличии теплоизбытков. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По какому нормативному документу выбираются параметры микроклимата для производственных помещений?
2. Какой принимается высота рабочей зоны производственных помещений?
3. Как изменяется температура воздуха по высоте помещения?
4. Если параметры температуры воздуха в производственном помещении в теплый период года составляют: оптимальные 20-22 ^{0}C, допустимые 18-19,9 и

22,1-27 ^{0}С, то какую температуру следует выбирать при расчете общеобменной вентиляции по тепловыделению?

5. По какой формуле определяется температура воздуха, выходящего из помещения $t_{вых}$?

6. По какой формуле определяется необходимый воздухообмен в помещении L при наличии теплоизбытков ∑Q?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.
2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

"Основы выбора и расчета теплозащитных экранов"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять выбор и расчет параметров теплозащитных экранов.

Задачи работы: изучить методику выбора и расчета параметров теплозащитных экранов.

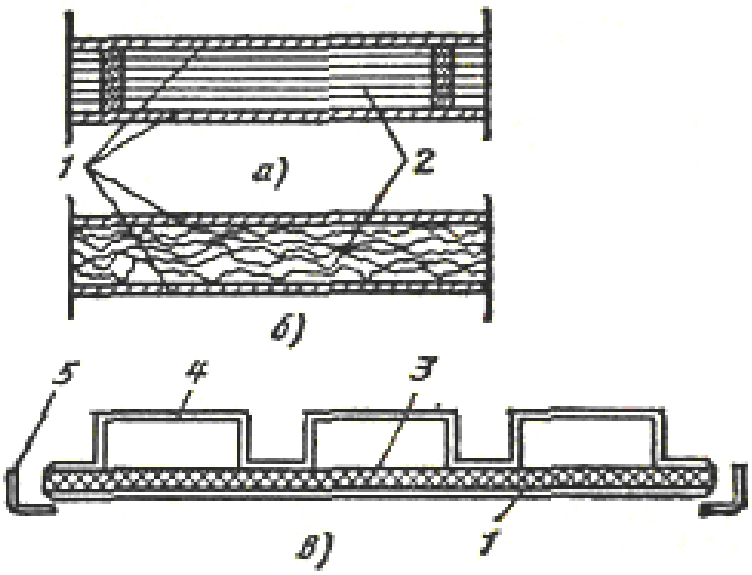
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Выбор и расчет теплозащитных экранов

Экраны бывают – теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие:

- теплоотражающие – зеркальные, либо со светлой поверхностью (белая жесть, покрашенная сталь, алюминий);
- теплопоглощающие – стальной лист с теплоизоляцией (асбестовый картон или шамотный кирпич), алюминиевый лист с теплоизоляцией, шамот в полкирпича, стальная сетка (диаметр проволоки 2 мм, диаметр отверстий 2 мм), сетка может быть одинарная или двойная (на расстоянии 3 см), двойная уменьшает поток тепловой энергии на 75 %, также могут использоваться закалённые силикатные или органические стекла;
- теплоотводящие – водоохлаждающиеся, стальной лист со стекающей водой, стальная сетка со стекающей водой, водяная завеса, паровые завесы.

В качестве материалов для непрозрачных теплоотражающих экранов используют альфоль (алюминиевую фольгу), алюминий листовой, белую жесть, алюминиевую краску. Экран состоит из несущего каркаса, отражающей поверхности и деталей крепления к экранируемому оборудованию (рисунок 2.3). Межэкранное пространство при установке нескольких простых одинарных экранов принимается обычно (по конструктивным соображениям) равным 20…25 мм. Уменьшение межэкранного пространства до 5 мм улучшает теплозащитные свойства экранов вследствие устранения конвективного теплообмена между слоями экрана.



а – экран из альфоля, уложенного рядами в воздушных прослойках; б - экран из скомканного альфоля в воздушных прослойках; в – комбинированный экран; 1 – металлический лист; 2 – слой альфоля; 3 – слой из теплоизоляционного металла; 4 – профилированный алюминиевый лист; 5 – рамка

Рисунок 1.1 – Конструктивные схемы непрозрачных теплозащитных экранов

Если внутри экрана расстояние больше 25 мм, то будет возникать явление конвенции, по этому расстояние необходимо делать меньше и применять несколько слоёв. Для трубопроводов теплоотражающие экраны изготавливают в виде квадратных коробов или полуцилиндрических скорлупок, внутри оклеенных альфолем. При температуре трубопровода 90 °С и выше применяют двойные экраны.

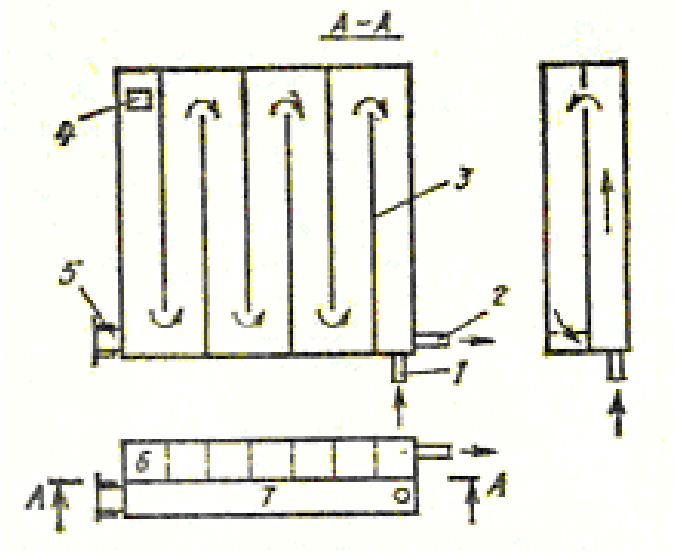
Эффективность экранов: белая жесть – 80 %, альфоль + асбест – 97 %.

На печь с тепловыделением Q = 2000 Вт/м^2 = 2000 Дж·с/м^2 поставили экран эффективностью 80 %. Какова будет Q после прохождения теплом экрана?

Q = 2000·0,2 = 400 Вт/м^2

Это значение Q все равно выше нормы. Необходимо ставить более эффективный экран (например эффективностью 97 %), тогда Q будет равно 60 Вт/м^2 (норма 100 Вт/м^2 при облучении 25 % тела).

Непрозрачные экраны радиационного охлаждения – это сварные или литые (с замкнутым змеевиком) конструкции, охлаждаемые протекающей внутри водой (рисунок 2.4). Их можно футеровать с одной стороны. Временные экраны можно изготовлять в виде металлических щитов, орошаемых водой. Футерированные теплоотводящие экраны могут применяться при любых встречающихся в практике интенсивностях облучения, нефутерированные – при интенсивностях 5…14 кВт/м^2, орошаемые щиты – при интенсивностях 0,7…3,5 кВт/м^2.



1 – подвод воды; 2 – сток воды; 3 – перегородки; 4 – переливное окно; 5 – труба с водой для промывки экрана; 6 – полость с перегородками; 7 - полость без перегородок

Рисунок 2.4 – Водоохлаждаемый экран для радиационного охлаждения и защиты от теплового облучения рабочих мест

Полупрозрачный экран – стекло с сеткой, прозрачные экраны – силикатное, кварцевое и неорганическое стекло, которое может быть прозрачным или окрашенным в синий цвет. Чем толще стекло, тем лучше оно поглощает. Используются экраны из двойного стекла с проточной водой внутри

(аквариумные экраны), расстояние между стёклами 15 – 20 мм. Имеются водяные и паровые завесы, которые служат для подачи воздуха в печи.

Для определения температуры внутренней поверхности экрана мспользуется формула:

$$T_{э1} = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{н.э.} + T^4_{н.п.} + T_в^{\ 4}}{1 + \varepsilon_{н.э.}}},$$

где $T_{э1}$ – температура внутренней поверхности экрана, К;
$\varepsilon_{н.э.}$ – приведенная степень черноты источника экрана;
$T_{н.п.}$ – температура наружной поверхности источника, К;
$T_в$ – средняя температура воздуха в рабочей зоне, К.

Например:

$T_{н.п.}$ = 1200 °С = 1473 К

$T_в$ = 30 °С = 303 К,

$$T_{э1} = \sqrt[4]{\frac{1 + (1473)^4 + (303)^4}{1+1}} = 1100 \text{ К}.$$

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры устройства по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров теплозащитных экранов.

4.2. Рассчитать основные параметры экранов. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие экраны являются теплоотражающими? Как они устроены?
2. Какие экраны являются теплопоглощающими? Как они устроены?
3. Какие экраны являются теплоотводящими? Как они устроены?
4. Какой экран имеет рамку, теплоизоляцию, стальные или алюминиевые листы?
5. Какой экран имеет емкости с водой и там осуществляется проток воды?
6. Какой экран имеет зеркальные или светлые поверхности?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

"Расчет уровня шума и проектирование средств защиты от шума"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет параметров шума.

Задачи работы: изучить методику расчета параметров шума.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Шум бывает:

- механический (от вибрации механизмов, ударов и т.п.);
- электромагнитный (от вибрации витков обмоток трансформаторов и дросселей);
- аэродинамический (от турбулентного движения воздуха);
- гидравлический.

Для постоянного шума уровень звукового давления определяется по формуле:

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0}, \qquad (2.1)$$

где P – среднеквадратичное звуковое давление в данной точке, Па;

P_0 – пороговое значение звукового давления ($P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па).

Мероприятия по снижению шума необходимо выбирать в следующем порядке:

1) снизить шум в самом источнике (заменить ударные процессы безударными, заменить возвратно-поступательные движения вращательными, снизить вибрацию). Снизить аэродинамический шум в источнике практически невозможно, поэтому необходимо применить глушители шума 1 (рисунок 3.7). Электромагнитный шум можно снизить закрепляя витки обмотки трансформаторов или заливая дроссели смолой, путем установления прокладок;

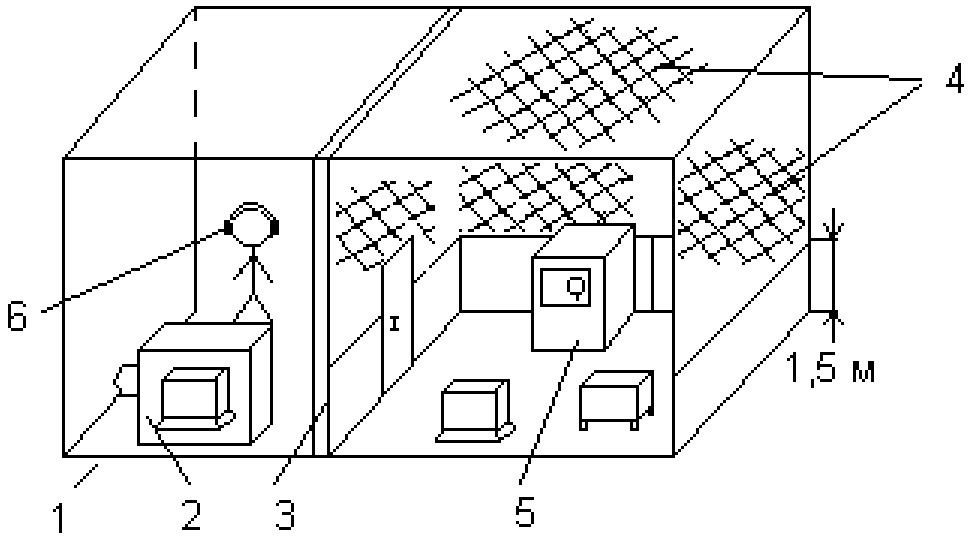
2) закрыть (если это возможно) источник шума звукоизолирующим кожухом 2 (рисунок 3.7). Кожух обычно изготавливается из металла, а внутри облицовывается звукопоглащающим материалом (резиной, паралоном, войлоком). Вентиляционные или загрузочные отверстия в кожухе необходимо оборудовать глушителями;

3) отделить источник шума от остальной части помещения звукоизолирующей перегородкой 3 (рисунок 3.7). Для отражения звука перегородка должна быть массивной, плотной, поэтому она изготавливается из кирпича или бетона. Двери в перегородки следует обивать железом; для отделения рабочих мест от шума могут применяться экраны, кабины 5 и т.п;

4) облицовывать потолок и все стены (от 1.5 м до потолка) звукопоглощающем материалом. Облицовка 4 может производиться как в помещениях с источником шума, так и в соседних помещениях (рисунок 3.7).

Следует отметить, что при использовании облицовки поглощается только звук падающий на облицовку, поэтому общий шум в помещении может быть снижен максимально в два раза (на 6-8 дБ). Для уменьшения прямого звука могут применятся шторы из мягких материалов;

5) выдать работающим индивидуальные средства защиты: шлемофоны (шлемы), наушники 6, заглушки или вкладыши по ГОСТ 12.4.011-75.



1 – глушитель; 2 – звукоизолирующий кожух; 3 – звукоизолирующая перегородка; 4 – звукоизолирующая облицовка; 5 – кабина; 6 – наушники

Рисунок 8.3 - Мероприятия по защите от шума

2.2 Примеры расчета уровня шума

Задача 1

Уровнем шума от первого источника в расчетной точке 80 дБ, от второго - 60 дБ, от третьего - 60 дБ. Определить суммарный уровень шума в расчетной точке в помещении на частоте f=1000 Гц от этих трех источников.

Решение:

Уровень шума определяется по формуле:

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0}, \qquad (1.1)$$

где L_p – уровень шума, дБ;

P – звуковое давление, Па;

P_0 – пороговое значение звукового давления, Па.

От трех источников уровень шума определяется по формуле:

$$L_p = 20 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_0} + \frac{P_2}{P_0} + \frac{P_3}{P_0}\right), \qquad (1.2)$$

где P_1 – звуковое давление первого источника шума, Па;

P_2 – звуковое давление первого источника шума, Па;

P_1 – звуковое давление первого источника шума, Па;

Найдем отношения $\frac{P_1}{P_0}$, $\frac{P_2}{P_0}$ и $\frac{P_3}{P_0}$.

Для первого источника шума уравнение (6.1) имеет вид

$$80 = 20 \cdot \lg \frac{P_1}{P_0},$$

Откуда

$$4 = \lg \frac{P_1}{P_0},$$

отношение

$$\frac{P_1}{P_0} = 10^4.$$

Для второго источника шума

$$60 = 20 \cdot \lg \frac{P_2}{P_0},$$

$$3 = \lg \frac{P_2}{P_0},$$

$$\frac{P_2}{P_0} = 10^3.$$

Для третьего источника

$$\frac{P_3}{P_0} = 10^3.$$

Подставив значения в формулу (6.2) получим

$$L_p = 20 \cdot \lg\left(10^4 + 10^3 + 10^3\right) = 81{,}6 \text{ дБ}.$$

Ответ: $L_p = 81{,}6$ дБ.

Задача 2

В помещении цеха на расстоянии 2 м от стены расположен источник шума (точка А). На расстоянии 1 м от источника шума уровень шума составляет 80 дБ. Рабочее место (точка С) располагается на расстоянии 3 м от источника шума. Коэффициент отражения от стены по звуковому давлению равен 0,2. Найти уровень шума на рабочем месте, если шум имеет две составляющие – прямой шум и отраженный шум, при условии, что шум отражается в точке В от стены, и угол падения шума равен углу его отражения и равен 45^0 (рисунок 6.1).

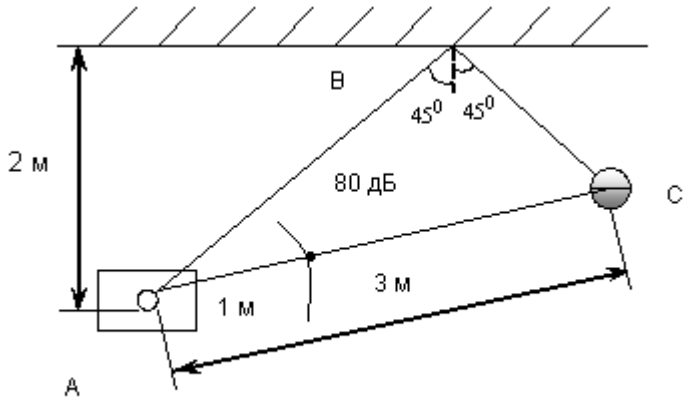


Рисунок 1.1 – Схема расположения рабочего места от источника шума

Решение:

1. Определим прямой шум:

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0},$$

где L_p – уровень шума, дБ;

P – звуковое давление, Па;

P_0 – пороговое значение звукового давления, Па.

1.1. Найдем отношение $\frac{P_1}{P_0}$ на расстоянии 1 м от источника шума:

$$L_{p1} = 20 \cdot \lg \frac{P_1}{P_0},$$

где L_{p_1} – уровень шума на расстоянии 1 м от источника шума, дБ;

P_1 – звуковое давление на расстоянии 1 м от источника шума, Па,

$$80 = 20 \cdot \lg \frac{P_1}{P_0},$$

$$4 = \lg \frac{P_1}{P_0},$$

$$\frac{P_1}{P_0} = 10^4.$$

1.2. Определим уровень шума (прямого) на расстоянии 3 м от источника шума, то есть в точке С:

$$L_{p_{пр}} = 20 \cdot \lg \frac{P_1}{P_0 \cdot r_{AC}{}^2},$$

где $L_{p_{пр}}$ - уровень прямого шума на расстоянии 3 м от источника шума, дБ;

P_0 – пороговое значение звукового давления, Па;

r_{AC} – расстояние от источника шума до рабочего места, м,

$$L_{p_{пр}} = 20 \cdot \lg \frac{10^4}{3^2} = 60{,}9 \text{ дБ=61 дБ.}$$

Прямой шум в точке С равен 61 дБ.

2. Определим отраженный шум:

Отраженный шум включает в себя две составляющие:

- шум, распространяющийся до точки В;
- шум, распространяющийся от точки В до рабочего места.

2.1. Найдем шум, распространяющийся до точки В:

$$L_{p_{B1}} = 20 \cdot \lg \frac{P_1}{P_0 \cdot r_{AB}{}^2},$$

где $L_{p_{B1}}$ - уровень шума в точке В, дБ;

r_{AB} – расстояние от источника шума до стены, м.

Проведем дополнительное построение АО, перпендикулярно стене:

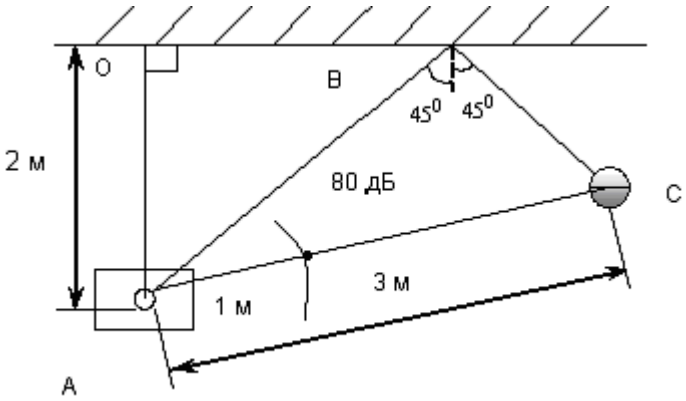


Рисунок 1.2 - Схема расположения рабочего места от источника шума с дополнительным построением АО

Рассмотрим Δ АОВ – прямоугольный. По теореме Пифагора:

$$AB = \sqrt{AO^2 + OB^2}.$$

ОВ=2 м, так как угол ОВА = 45^0 (звук отражается перпендикулярно по отношению к точке В и угол падения равен углу отражения).

$$AB = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2{,}83 \text{ м},$$

$$L_{p_{B1}} = 20 \cdot \lg \frac{10^4}{2{,}83^2} = 61{,}9 \text{ дБ} = 62 \text{ дБ}.$$

2.2 Найдем шум, отразившийся от стены:

$$L_{p_B} = 20 \cdot \lg\left(\frac{P_B \cdot K_{отр}}{P_0 \cdot r_{ABB}{}^2}\right),$$

где L_{p_B} - уровень отраженного шума, дБ;

P_B – звуковое давление отраженного шума, Па;

r_{ABC} – суммарное расстояние АВ+ВС, м.

Рассмотрим Δ АВС – прямоугольный (угол АВС равен 90^0). По теореме Пифагора:

$$AC^2 = AB^2 + BC^2,$$

$$BC^2 = AC^2 - AB^2,$$

$$BC = \sqrt{AC^2 - AB^2},$$

$$BC = \sqrt{3^2 - 2{,}83^2} = 1 \text{ м}.$$

Найдем отношение $\frac{P_B}{P_0}$ в точке В:

$$\frac{P_B}{P_0} = \frac{10^4}{2{,}83^2} = 1248{,}6,$$

АВ+ВС=2,83+1=3,83 м.

отраженный шум в точке С

$$L_{p_B} = 20 \cdot \lg\left(\frac{10^4 \cdot 0{,}2}{3{,}83^2}\right) = 43 \text{ дБ}.$$

Отраженный шум в точке С равен 43 дБ.

3. Находим общий шум на рабочем месте:

Определим отношение $\frac{P_{пр}}{P_0}$ для прямого и $\frac{P_{отр}}{P_0}$ для отраженного шума:

$$60{,}9 = 20 \cdot \lg\left(\frac{P_{пр}}{P_0}\right),$$

$$3{,}05 = \lg\left(\frac{P_{пр}}{P_0}\right),$$

$$\left(\frac{P_{пр}}{P_0}\right) = 10^{3{,}05}.$$

$$43 = 20 \cdot \lg\left(\frac{P_{отр}}{P_0}\right),$$

$$2{,}15 = \lg\left(\frac{P_{отр}}{P_0}\right),$$

$$\left(\frac{P_{отр}}{P_0}\right) = 10^{2{,}15}.$$

Находим уровень звука в точке С:

$$L_C = 20 \cdot \lg\left(\frac{P_{пр}}{P_0} + \frac{P_{отр}}{P_0}\right),$$

где L_C - уровень шума на рабочем месте, дБ;

$P_{отр}$ – звуковое давление отраженного шума, Па;
$P_{пр}$ – звуковое давление прямого шума, Па;
P_0 – пороговое значение звукового давления, Па,

$$L_C = 20 \cdot \lg\left(10^{3,05} + 10^{2,15}\right) = 62 \text{ дБ}.$$

Ответ: $L_C = 62$ дБ.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры шума по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров шума.

4.2. Рассчитать основные параметры шума. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для определения уровня шума необходимо пользоваться какой формулой?
2. Назовите параметры, входящие в формулу для определения уровня шума $L_p=20 \lg(P/P_o)$?
3. Напишите формулу для определения уровня шума.
4. Если уровень шума увеличится на 20 дБ, то это значит, что звуковое давлении увеличилось во сколько раз?
5. В расчетной точке уровень шума от одного станка 60 дБ. При включении второго такого же станка, расположенного на том же расстоянии, чему будет равен суммарный уровень шума?
6. Звукопоглощающая способность стенки кожуха зависит от каких факторов?
7. Если при помощи СИЗ не удается снизить шум до безопасного уровня на станке, где рабочий управляет им с пульта, то что необходимо сделать?
8. Когда рабочее место расположено в зоне отраженного звука, какой вид защиты от шума выполнять более целесообразно?

.

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

"Защита от вибрации"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет параметров устройств для уменьшения вибрации.

Задачи работы: изучить методику расчета параметров устройств для уменьшения вибрации оборудования.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Интенсивность вибрации может быть определена по амплитуде колебаний X_{max}, скорости вибрации ***v*** и ускорению вибрации ***a***. Предпочтение отдается среднеквадратичному значению виброскорости, т.к. кинематическая энергия, передаваемая человеку, прямо пропорциональна квадрату виброскорости:

Учитывая, что абсолютные значения виброскорости изменяются в очень широких пределах, на практике чаще используется уровень виброскорости

$$Lv = 10\,1g\frac{\upsilon^2}{\upsilon_0^2} = 20\cdot 1g\frac{\upsilon}{\upsilon_0}, \qquad (9.1)$$

где Lv – уровень виброскорости, дБ;

υ – измеренное (истинное) среднеквадратичное значение виброскорости, м/с;

υ_0 – пороговое значение виброскорости, м/с.

Пороговое значение виброскорости $\upsilon_0 = 5\cdot 10^{-8}$ м/с – это наименьшее значение виброскорости, которое начинает ощущать человек.

Мероприятия по уменьшению вибрации должны предусматриваться при проектировании машин и механизмов:

- замена возвратно-поступательного движения вращательным;
- балансировка вращающихся частей;
- замена прямозубчатых передач косозубыми;
- применение пластмассовых шестерен;
- применение виброгасящих устройств и материалов с большим внутренним трением (резина, войлок), а также жидкостей;
- расчет динамических параметров машин с целью исключения резонансных режимов.

При резонансе резко увеличивается амплитуда колебаний. Резонанс возникает, если частота собственных колебаний механизма f_0 будет равна частоте вынужденных колебаний $f_{вын}$:

$$f_0 = f_{вын},$$

где f_0 – частота собственных колебаний механизма (машины), Гц;
$f_{вын}$ – частота вынужденных колебаний, Гц.
Для одномассовой системы собственная частота колебаний

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C}{m}}\ ; \qquad (9.2)$$

где C – жесткость амортизаторов, Н/м;
m – масса механизма, кг.
Частота $f_{вын}$ определяется источником колебаний, например для вращающихся частей:

$$f_{вын} = \frac{n}{60}\ , \qquad (9.3)$$

где n – число оборотов маховика, ротора, об/мин.
При проектировании желательно добиваться того, чтобы отношение

$$\frac{f_{вын}}{f_0} > 3\ , \qquad (9.4)$$

в этом случае передача вибрации на основание будет небольшой.

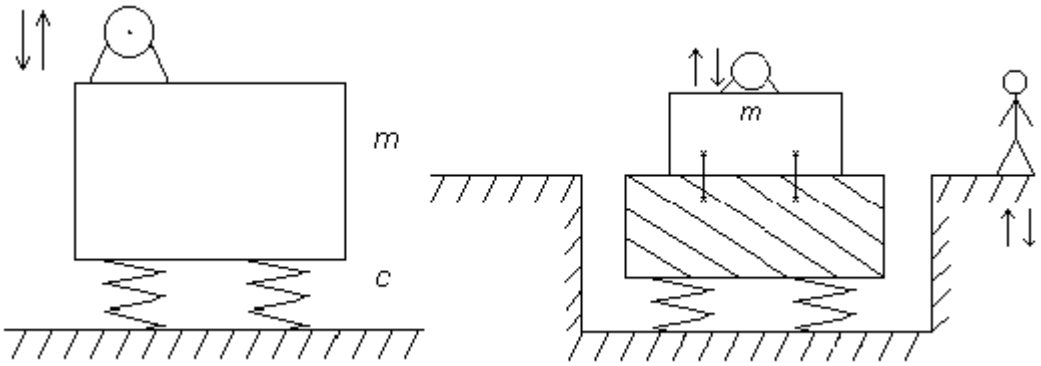


Рисунок 9.1 - Одномассовая динамическая система

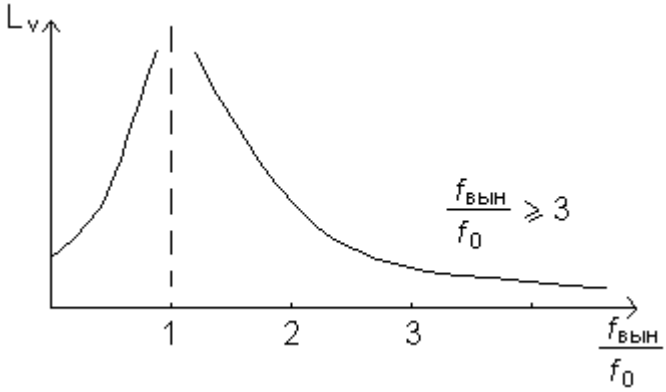


Рисунок 9.2 - Зависимость уровня виброскорости от отношения $f_{вын}/f_0$

2.1. Расчеты частоты колебаний механизмов и исключение резонансных режимов

Задача 1. ВИБРОИЮЛЯЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ОПЕРАТОРОВ ПУЛЬТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Одна из задач охраны труда на участках проведения вибрационных испытания машин н оборудования - защита от воздействия вибраций обслуживающего персонала, прежде всего операторов вибростендов. При отсутствии систем дистанционного управления вибростендами снижение колебаний рабочего места достигается их виброизоляцией - наиболее распространенным методом зашиты от вибраций, который реализуется введением дополнительной упругой связи (виброизоляторов) между источником вибраций и защищаемым объектом. В системах виброизоляции рабочих мест операторов вибростендов, учитывая наличие интенсивных составляющих в низкочастотной части спектра вибраций, обычно используют пружинные виброизоляторы. Расположение виброизоляторов зависит от направления действия возмущающих сил. Принципиальные схемы расположения виброизоляторов открытых площадок, на которых располагаются операторы, представлены на рисунке 9.1. Виброизоляция рабочих мест может применяться при гармонических и негармонических колебаниях основания»

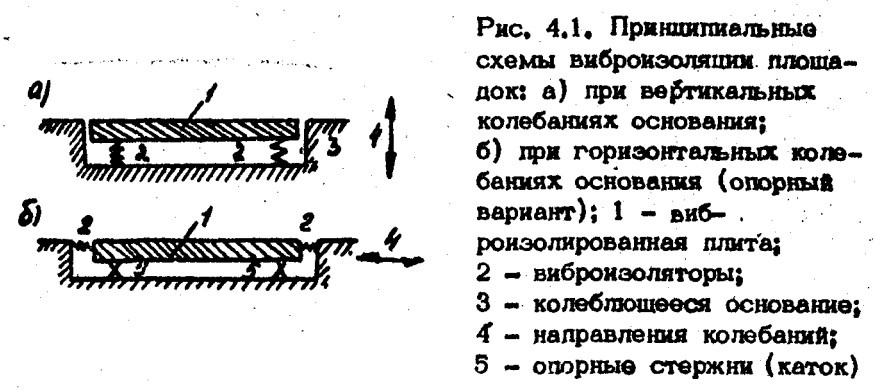


Рис. 4.1. Принципиальные схемы виброизоляции площадок: а) при вертикальных колебаниях основания; б) при горизонтальных колебаниях основания (опорный вариант); 1 – виброизолированная плита; 2 – виброизоляторы; 3 – колеблющееся основание; 4 – направления колебаний; 5 – опорные стержни (каток)

Рисунок 9.1 – Схема виброизоляции площадки

Цель расчета - определение числа виброизоляторов и их геометрических характеристик, обеспечивающих значения коэффициента передачи вибраций (КП), при котором вибрация рабочего места оператора снижается до допустимой величины.

Исходные данные при проектировании виброизоляции рабочего места в случае гармонических вибраций основания» частота f колебаний, на которой

проводятся испытания, амплитуда смещениях $A_{осн}$ вынужденных колебаний виброизолируемой плиты основания; нормативные значения амплитуды смешения основания $A_{норм}$ соответствии с ГОСТом; габариты плиты a·b (массы опорной плиты M, оператора m, оборудования $m_{об}$. (Масса оборудования принимается во внимание в том случае, когда она располагается на опорной плите рабочего места.)

При расчете используется соотношение

$$КП = \frac{A_{норм}}{A_{осн}} = \frac{1}{(f/f_0)^2 - 1}, \qquad (9.1)$$

где f_0 - собственная частота виброизолируемого рабочего места, включая оператор, опорную плиту и виброизоляторы.

Расчет виброизоляции рабочего места в случае вертикальных вибраций, которые чаше всего наиболее выражены, ведется в такой последовательности.

1. Находим допустимое значение амплитуды колебательной скорости рабочего места по таблице 9.1.

2. По формуле (9.1) определяем потребное значение коэффициента передачи виброизоляции.

3.Находим потребное значение собственной частоты виброизолированного рабочего места

$$f_0 = \frac{F}{\sqrt{\frac{1}{КП} + 1}}. \qquad (9.2)$$

4. По найденному значению f_0 находим потребную статическую осадку

$$x_{ст} = \frac{q}{(2\pi f_0)^2}. \qquad (9.3)$$

5. Рассчитываем (или задаем) массу опорной плиты M, которая должна в 2-3 раза превышать массу оператора и оборудования, располагаемого на плите.

6. При заданных габаритах опорной плиты определяем толщину опорной плиты

$$\delta = \frac{M}{ab\rho}, \qquad (9.4)$$

где ρ - плотность материала плиты.

7. Вычисляем суммарную жесткость виброизоляторов q_z в вертикальном направлении

$$q_{z\varepsilon} = \frac{M_\varepsilon g}{x_{ст}}, \text{ где } M_\Sigma = M + m + m_{об}. \qquad (9.5)$$

8. Определяем вертикальную жесткость q_{z1} одного виброизолятора

$$q_{z1} = \frac{q_{z\Sigma}}{N}, \qquad (9.6)$$

где N - число виброизоляторов (выбираем, исходя из требования обеспечения устойчивости опорной плиты).

Таблица 9.1 – Допустимые значения амплитуды колебаний

Частота, Гц	1,4	1,6	2	2,5	2,8	3,2	4,0	5,0	5,6
Амплитуда перемещения	3,11	2,22	1,28	0,73	0,61	0,44	0,28	0,16	0,13
Частота, Гц	6,8	8,0	10	11,2	12,5	16	20		
Амплитуда перемещения	0,09	0,056	0,045	0,041	0,036	0,028	0,0225		
Частота, Гц	22,4	25	31,5	40	45	50	63	80	90
Амплитуда перемещения	0,02	0,018	0,014	0,013	0,0102	0,009	0,0072	0,0056	0,005

<u>Примечание:</u> значение амплитуд перемещения даны для случая гармонических колебаний.

9. Находим расчетную нагрузку на одну пружину с учетом возможности неравномерного распределения нагрузки на пружины при перемещении оператора

$$P_1 = \frac{Mg}{N} + 1{,}5\frac{mg}{n}, \qquad (9.7)$$

где n - минимальное число пружен, воспринимающих вес оператора при работе.

10. Определяем геометрические размеры пружинных виброизоляторов:

а) диаметр прутка пружины $d = 1{,}6\sqrt{\frac{\kappa \cdot P_1 C}{[\tau]}}$, (9.8)

где C=D/d принимаем равным от 4 до 10; (9.9)

D - диаметр пружины;

$\tau = 4{,}41 \cdot 10^8$ Н/м^2 - допустимое напряжение материала пружины на кручение;

К - коэффициент деформации пружины (определялся по рисунку 9.2);

б) диаметр пружины D=cd;

в) число рабочих витков $i_1 = \frac{Gd}{8 \cdot K_{z1} \cdot C^3}$, (9.10)

G=7,85·10^{10} Н/м^2 – модуль сдвига для стали;

г) полное число витков пружины

$i_\Sigma = i_1 + i_2$, (9.11)

где нерабочее число витков пружины i_2=1,5 при i_1<7 и i_2=2 при $i_1 \geq 7$;

д) шаг витка h=0,25D;

е) высота ненагруженной пружины

$$H_0 = i_\Sigma h(i_2 - 0{,}5)d. \qquad (9.12)$$

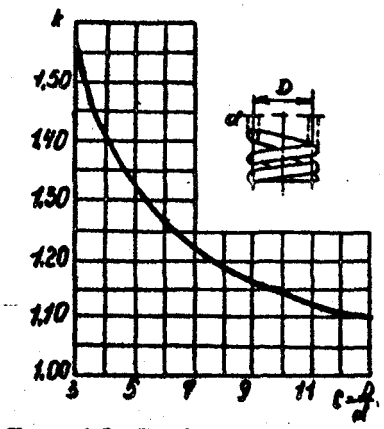


Рис. 4.2. График для определения коэффициента: D – средний диаметр; d – диаметр прутка; C – индекс пружины

Рисунок 9.2 – График для определения коэффициента К

При расчете пружин, работающих на сжатие, отношение высоты нагруженной пружины к ее диаметру должно быть не более двух. В противном случае возникнет опасность потери устойчивости виброизолированной системы.

Пример. Рассчитать виброизоляцию железобетонной виброгасящей плиты-с расположенным на ней рабочим местом оператора мощного вибростенда. Испытания проводятся при гармонических колебаниях, имеющих частоту f, равную 50 Гц, и амплитуду А, равную $0{,}195 \cdot 10^{-3}$ м. Масса плиты М составляет 220кг.

Решение.1. По таблице 9.1 находим допустимое значение амплитуды перемещения при гармонических колебаниях с частотой 50 Гц. Оно составляет $0{,}009 \cdot 10^{-3}$ м. Принимая коэффициент запаса, равный 3, получим допустимое значение амплитуды смещения $0{,}003 \cdot 10^{-3}$ м.

2. По формуле (9.1) определяем значение коэффициента передачи вибраций

$$КП = \frac{0{,}03 \cdot 10^{-3}}{0{,}195 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{65}.$$

3. Соответствующее значение собственных вертикальных колебаний опорной плиты составит

$$f_0 = \frac{50}{\sqrt{1/65 + 1}} = 6{,}15\,Гц.$$

4. Суммарную жесткость пружин, на которых устанавливается плита, с учетом веса массы плиты и оператора на ней (массу оператора принимаем

равной 80 кг, а массой рабочего места пренебрегаем), вычисляем по формуле (9,5)

$$q_{z\Sigma} = \frac{(220+80)\cdot 9{,}8\cdot(2\pi\cdot 6{,}15)^2}{9{,}81} = 454\cdot 10^3 \text{ Н/м}.$$

5. Статическая осадка всех пружин $x_{ст}$ составляет

$$x_{ст} = \frac{2945}{454\cdot 10^3} = 0{,}66\cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

6. Принимая общее число пружин N, равное 8 (по 2 на каждый угол опорной плиты), по формуле (9.6) определим жесткость одного виброизолятора

$$q_{z1} = \frac{454\cdot 10^{-3}}{8} = 57\cdot 10^{-3} \text{ Н/м}.$$

7. Нагрузка на одну пружину в соответствии с формулой (9.7) составляет

$$P_1 = \frac{220\cdot 9{,}8}{8} + 1{,}5\frac{80\cdot 9{,}8}{2} = 854{,}75 \text{ Н}.$$

(Вес человека в худшем случае распределяется в процессе работы на 2 пружины.)

8. По формуле (9.8) определим диаметр прутка пружины, принимая C=8. Соответствующее значение коэффициента К составит 1,18. Допускаемое напряжение $[\tau]$ на срез для пружинных сталей составляет $44{,}1\cdot 10^7$ Н/м^2. Отсюда

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{кPC}{[\tau]}} = 1{,}6\sqrt{\frac{1{,}8\cdot 858{,}75\cdot 8}{44{,}1\cdot 10^7}} = 685\cdot 10^{-3}.$$

Конструктивно принимаем $d = 10\cdot 10^{-3}$ м.

В этом случае $D = cd = 8\cdot 10\cdot 10^{-3} = 80\cdot 10^{-3}$.

Напряжение на кручение τ составит

$$\tau = \frac{1{,}6^2\cdot к\cdot P\cdot C}{d^2} = \frac{2{,}56\cdot 1{,}18\cdot 858{,}75\cdot 8}{\left[6{,}86\cdot 10^{-3}\right]^2} = 259\cdot 10^6 \text{ Н/м}^2;$$

$$25{,}9\cdot 10^7 \text{ Н/м}^2 < 44{,}1\cdot 10^7 \text{ Н/м}^2.$$

Условие прочности выполняется.

По формуле (4.10) определяем число рабочих витков пружины

$$i_1 = \frac{Gd}{8q_z\cdot C^3} = \frac{8\cdot 10^5\cdot 10^5\cdot 10\cdot 10^3}{8{,}57\cdot 10^3\cdot 8^3} = 3{,}425 \approx 3{,}42.$$

(G для пружинных сталей составляет $8\cdot 10^{10}$ Н/м^2).

В соответствии с условием (4.11) полное число витков пружины составит $i_\Sigma = i_1 + i_2 = 3{,}42 + 1{,}5 = 4{,}92 \cong 5{,}0$, так как $i_1<7$.

Рассчитываем шаг витка $h = 0{,}25D = 0{,}25\cdot 80\cdot 10^{-3} = 20\cdot 10^{-3}$.

По формуле (4.12) определяем высоту ненагруженной пружины

$$H_0 = i_\Sigma h + (i_2 - 0{,}5)d = 4\cdot 20\cdot 10^{-3} + (1{,}5 - 0{,}5)\cdot 10\cdot 10^{-3} = 90\cdot 10^{-3} \text{м}.$$

Проверяем выполнение требования устойчивости пружин:

$$\frac{H_0}{D} = \frac{90 \cdot 10^{-3}}{80 \cdot 10^{-3}} = 1{,}124 < 2{,}0,$$

т.е. отношение высоты пружины к диаметру меньше двух.

Задача 9.2

Станок массой 500 кг, на котором установлен ротор, вращающийся с частотой 900 об/мин, система установлена на пружинном амортизаторе, жесткостью $8 \cdot 10^4$ Н/м. Определить отношение частоты вынужденных колебаний к частоте собственных колебаний, сделать выводы по явлению резонанса.

Решение

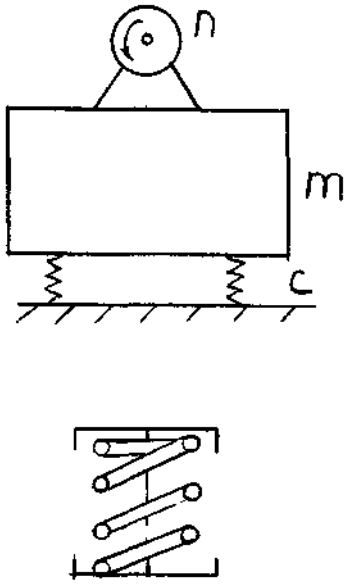


Рисунок 9.3 – Станок, установленный на пружинах

1. Определяем частоту собственных колебаний станка

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}}, \qquad (9.13)$$

где f_0 – частота собственных колебаний системы, Гц;

c – жесткость амортизатора, Н/м;

m – масса установки, кг,

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot 10^4}{500}} = 2 \text{ Гц},$$

частота вынужденных колебаний

$$f_{вын} = \frac{n}{60}, \qquad (9.14)$$

где n – число оборотов ротора, об/мин,

$$f_{вын} = \frac{900}{60} = 15 \text{ Гц},$$

$\frac{f_{вын}}{f_0} = \frac{15}{2} = 7{,}5$, это значение больше трех, резонанса нет, и вибрация не будет большой. Однако пружины выбраны недостаточной жесткости, так как осадка пружин будет составлять $\frac{5000}{8 \cdot 10^4} = 0{,}0625$ м = 62,5 мм.

Если принять Δ = 20 мм

$$C_{ам} = \frac{m \cdot g}{\Delta}, \qquad (9.15)$$

где Δ – осадка пружины, м,

$$C_{ам} = \frac{500 \cdot 9{,}8}{0{,}02} = 2{,}45 \cdot 10^5 \text{ Н/м},$$

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14} \cdot \sqrt{\frac{2{,}45 \cdot 10^5}{500}} = 3{,}53 \text{ Гц}.$$

Отношение $\frac{f_{вын}}{f_0} = \frac{15}{3{,}53} = 4{,}25$.

Ответ: $\frac{f_{вын}}{f_0} = 4{,}25$.

Задача 9.3

В лаборатории испытывается вентилятор, массой 500 кг, установленный на четырех стальных пружинах. Необходимо рассчитать параметры пружин, то есть определить нагрузку на пружины, диаметр прутка пружины, диаметр пружины, число рабочих витков пружины, шаг витков. Дано: коэффициент деформации пружины равен 1,2, допустимое напряжение материала на скручивание равно $4{,}4 \cdot 10^8$ Н/м^2, отношение диаметра пружины к диаметру прутка D/d=8. Модуль упругости для стали равен $8 \cdot 10^{10}$ Н/м^2, жесткость амортизации пружин равна $2{,}45 \cdot 10^5$ Н/м.

Решение

1. Определяем нагрузку на пружины:

$$P_i = \frac{m \cdot g}{n_{пр}}, \qquad (9.16)$$

где P_i – нагрузка на одну пружину, Н;

m – масса установки, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$n_{пр}$ – число пружин,

$$P_i = \frac{500 \cdot 9{,}8}{4} = 1225 \text{ Н.}$$

2. Определяем диаметр прутка пружины:

$$d = 1{,}6 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot P_i \cdot a}{\tau_{доп}}}, \qquad (9.17)$$

где d – диаметр прутка, м;

k – коэффициент деформации пружины;

a=D/d – отношение диаметра пружины к диаметру прутка;

$\tau_{доп}$ – допустимое напряжение материала на скручивание, Н/м^2,

$$d = 1{,}6 \cdot \sqrt{\frac{1{,}2 \cdot 1225 \cdot 8}{4{,}4 \cdot 10^8}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 8 \text{ мм.}$$

3. Определяем диаметр пружины:

$$D = a \cdot d = 8 \cdot 8 = 64 \text{ мм.}$$

4. Определяем число рабочих витков пружины:

$$i = \frac{E \cdot d}{8 \cdot C_{пр} \cdot a^3}, \qquad (9.18)$$

где $C_{пр}$ – жесткость одной пружины, Н/м;

E – модуль упругости для стали, Н/м^2;

i – число рабочих витков пружины,

жесткость одной пружины

$$C_1 = \frac{C_{ам}}{n}, \qquad (9.19)$$

где n – число пружин;

$$C_1 = \frac{2{,}45 \cdot 10^5}{4} = 6{,}1 \cdot 10^4 \text{ Н/м,}$$

$$i = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 6{,}1 \cdot 10^4 \cdot 8^3} = 2{,}56, \text{ значение округляем до 3.}$$

5. Определяем шаг витка:

$$h = \frac{D}{4}, \qquad (9.20)$$

где h – шаг витка, м,

$$h = \frac{64 \cdot 10^{-3}}{4} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 16 \text{ мм}.$$

6. Высота ненагруженной пружины

$$H_0 = i \cdot h + (i_z - 0{,}5) \cdot d, \qquad (9.21)$$

где H_0 - высота ненагруженной пружины, мм;

i_z – число нерабочих витков,

$$H_0 = 3 \cdot 16 + (1{,}5 - 0{,}5) \cdot 8 = 56 \text{ мм}.$$

отношение H_0/D

$\frac{56}{64} = 0{,}875$, меньше 2, то есть устойчивость пружины обеспечена.

Ответ: P_i=1225 Н, d=8·10^{-3} м, D=64 мм, i=2, h=16·10^{-3} м.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры виброгасящего устройства по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров вибрации.

4.2. Рассчитать основные параметры пружинного амортизатора. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие средства не снижают класс условий труда по уровню вибрации?

2. Нормирование общей и локальной вибрации производится по какому документу?
3. Укажите условие для исключения резонанса, которое необходимо выполнять при проектировании виброизоляции?
4. Если уменьшить жесткость амортизаторов, то как изменится частота собственных колебаний системы?
5. В каком диапазоне частот даются нормативные значения уровня общей вибрации?
6. Укажите формулу, по которой определяется частота собственных и вынужденных колебаний?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

"Расчет параметров пружинных и резиновых виброизоляторов"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет параметров виброизоляторов.
Задачи работы: изучить методику расчета параметров виброизоляторов.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Виды виброизоляторов

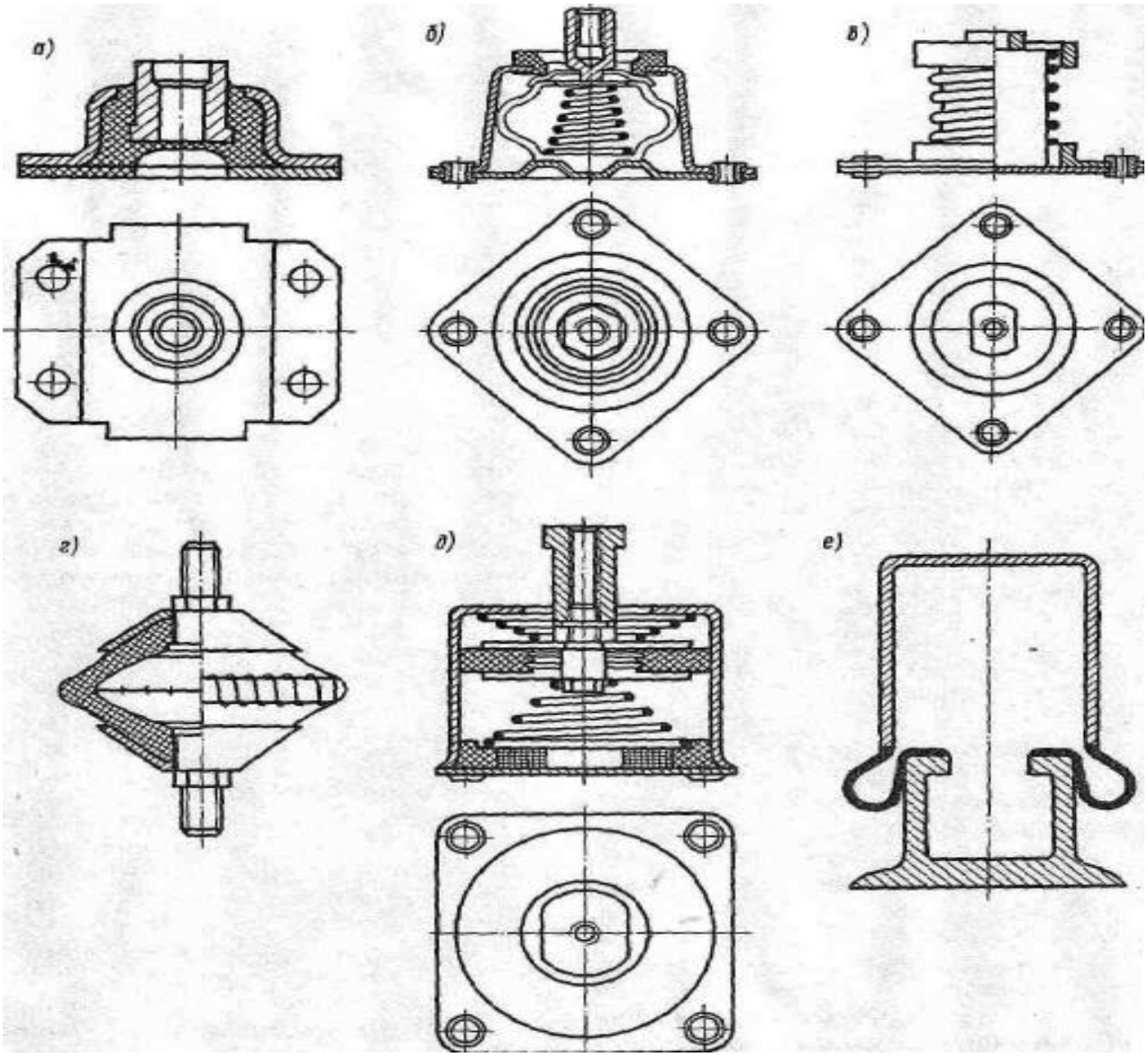


Рисунок 1.1 - Виброизоляторы:

а — рёзинометалличеекий типа АКСС;б — пружинно-резиновый типа АД с пневмодемпфированием; в — типа АЦП; е — типа ДК; д —типа АПН сильнодемпфированный пластмассовый; е— пневмоамортизатор

2.2 Примеры расчета стальных виброизоляторов

ПРИМЕР. По данным натурных измерений известна среднеквадратичная виброскорость основания *V=9 см/с* и основная частота вибрирования равна 50 Гц. Допускаемая виброскорость колебаний рабочих мест определяется по ГОСТ 12.1.012—90* в зависимости от частоты вынужденных колебаний. При *f*=50 Гц допустимая среднеквадратичная виброскорость рабочего места *V=0,2 см/с*, определим необходимую эффективность виброизоляции, исходя из требований создания на виброизолированной плите допустимого уровня вибрации:

$$\mu = V_0 / V = 0{,}2/9 = 1/45$$

$$\mu = 1/\left(f / f_0\right)^2 - 1$$

$$f_0 / \sqrt{1/\mu} + 1 = 50/\left(\sqrt{1/45} + 1\right) = 65 \text{ Гц.}$$

Суммарная жесткость виброизоляторов при $f_0 = 5\sqrt{\lambda_{CT}}$

$$K = p/\lambda_{CT} = Pf^2/25 = 5500(6{,}5)^2/25 = 9295 \text{ Н/см, где } P=5500$$

Н—вес плиты и установленного на ней оборудования с учетом веса людей (принимается исходя из размеров виброизолированной железобетонной плиты толщиной 0,12 м).

Учитывая продольную устойчивость плиты, выбираем число пружин *n*, определяем жесткость одной пружины К при заданном числе пружин:

$$K' = K/n = 9295/8 = 1161 \text{ Н/см.}$$

Находим расчетную нагрузку на одну пружину *P′*:

$$P' = \frac{P(m-1)80*1{,}5}{n},$$

где Р — вес одного человека;

m — число людей, одновременно находящихся на плите;

n — число пружин.

В ГОСТ 12.4-093—80 представлена методика расчета пружинных и резиновых виброизоляторов с учетом жесткости в трех направлениях (оси X, Y, Z).

Для расчета виброизоляторов необходимы следующие данные: *Кх, Ку, Кz* — жесткость виброизоляторов по осям *X, Y, Z* (Н/м); силовая нагрузка на виброизолятор, *Н*.

Геометрические размеры пружин определяют по ГОСТ 13765—86.

Далее находят жесткость пружинных виброизоляторов в горизонтальной плоскости

$$K_x = K_y = \frac{C_x(3{,}5 - 1{,}5\lambda / h)}{(1 + \lambda / h)(1{,}3 + h^2 / d_0^2)},$$

где λ — рабочая деформация пружин, м; *h* — высота пружин при рабочей деформации, м; d_0 —средний диаметр пружины, м.

Затем по формулам, представленным в ГОСТ 12.4.093—80, проверяется устойчивость пружинных виброизоляторов.

2.2.Расчёт резиновых виброизоляторов

Резиновые виброизоляторы обеспечивают виброизоляцию с коэффициентом виброизоляции μ *=1/5* и ниже при частоте вынужденных колебаний от 20 Гц и более. Эффективная работа резиновых виброизоляторов достигается, когда они выполнены в виде коротких элементов, у которых высота *H* и поперечный размер *A* отвечают условию: $H \geq A/4$. В этом случае обеспечиваются необходимая статическая осадка виброизолятора и достаточно низкое значение частоты собственных колебаний виброизолированной системы.

Расчет резиновых виброизоляторов ведется в такой последовательности:

по паспортным данным машины или путем измерений определяют частоту вынужденных колебаний *f* (Гц); эффективность виброизоляции определяют выбором отношений f/f_0, где f_0 — частота собственных колебаний вибро-изолироваиной установки. При $f/f_0=3$ обеспечивается виброизоляция с μ =1/8 и эффективностью 87%, т. е. виброизоляторы поглощают до 87 % энергии вибрации; выбирают сорт резины мягкой и средней твердости с расчетным напряжением 0,2...0,4 МПа и динамическим модулем упругости Е от 2,5...20 МПа; исходя из конструктивных особенностей машины (виброизолированного рабочего места) задаются числом виброизоляторов *n;* находят характерный размер площади поперечного сечения *S* (сторона квадрата, большая сторона прямоугольника, диаметр) по зависимости

$$S = \sqrt{P / n\sigma},$$

где. *P* — вес машины, *H*; *n* — число виброизоляторов; σ — расчетное напряжение в резине, Па. Далее определяют полную высоту резинового виброизолятора *H*, исходя из условия $H \geq A/4$; рабочая высота виброизолятора $H = H - A/8$; жесткость одного резинового амортизатора в вертикальном направлении определяют по зависимости:

$$K = E_Д S / H ,$$

где $E_Д$ — динамический модуль упругости при сжатии; S — площадь поперечного сечения одного виброизолятора.

Рассчитывают частоту собственных вертикальных колебаний виброизолированной системы:

$$f_0 = \frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{4(S/H)^2 g^2 E_Д^2 n^2}{(8 - S/H)^2 P\sigma}} ,$$

где *g=9,81 м/с2*

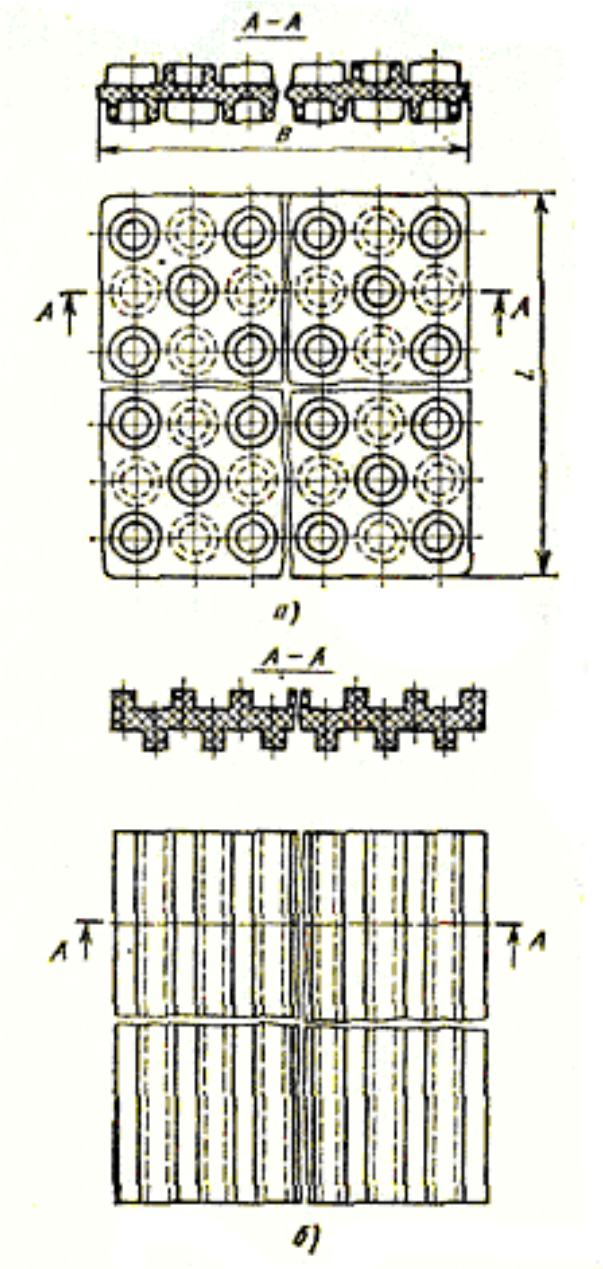
Расчетное значение f_0 сравнивают с требуемым по условиям виброзащиты, т. е. если f_0 окажется больше требуемой, то в расчет следует внести следующие изменения: а) выбрать резину с меньшим динамическим модулем; б) в допустимых пределах увеличить статическое напряжение в резине; в) увеличить вес машины или виброизолированного рабочего места.

Виброизоляция машин с частотой вынужденных колебаний ниже 12 Гц при использовании резиновых амортизаторов не обеспечивает высокой эффективности виброизоляции.

Вибрация машин, фундаментов, рабочих мест с интенсивностью виброскорости до 1 см/с может быть снижена за счет использования стандартных виброизолирующих ковриков КВ-1 и КВ-2.

Зная нагрузку на виброизолятор и его потребную динамическую жесткость, подбирают стандартные виброизоляторы. Характеристики некоторых типов виброизоляторов приведены на рисунке 3.1.

Коврики имеют ширину 350 и 338 мм при толщине 21 и 26 мм и номинальную удельную нагрузку от 0,03 до 0,13 МПа (рис. 10.5). При установке машин на виброизолирующие коврики собственная частота системы изменяется в зависимости от удельной нагрузки. Для ковриков КВ-1 f_0*=9...25* Гц при изменении удельной нагрузки от 0,06...0,0008 МПа. При использовании ковриков КВ-2 f_0*=10... 30* Гц при удельной нагрузке 0,4...0,05 МПа. Коврики целесообразно использовать для виброизоляции фундаментов виброплощадок, виброизоляции рабочих мест, располагаемых на массивных железобетонных плитах с удельной нагрузкой 0,06...0,08 МПа. Применение ковриков КВ-1 для виброизоляции рабочих мест у виброплощадки (или оператора БСУ), располагаемых на массивной железобетонной плите весом 12 000 Н, при площади коврика 2000 см2, удельной нагрузке 0,06 МПа обеспечивает частоту собственных колебаний виброизолированного рабочего места 9...10 Гц. Такая виброизоляция позволяет при частоте вынужденных колебаний 50 Гц достигнуть уменьшения амплитуды виброперемещения на рабочем месте с 15...20 раз.



а – типа КВ1; б – типа КВ2

Рисунок 3.1 – Конструкция и геометрические характеристики виброизоляторов

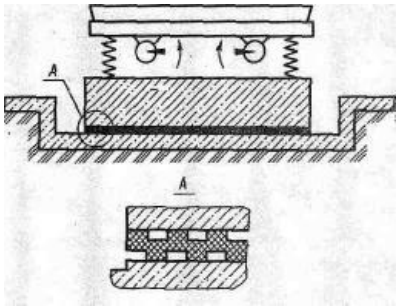


Рисунок 3.2 - Схема установки коврика КВ-2 под фундамент виброплощадки

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры виброизолирующего устройства по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета параметров виброизолятора.

4.2. Рассчитать основные параметры виброизолятора. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как зависит жесткость пружины от ее диаметра D?
2. . Как зависит жесткость пружины от числа рабочих витков i ?
3. Если увеличить число витков пружины, то как изменится ее жесткость и собственная частота колебаний системы?
4. В каких единицах измеряется жесткость пружины?
5. Что такое жесткость пружины?
6. По какой формуле определяется жесткость пружины?
7. Чему равен модуль упругости для стали (из которой делаются пружины)?
8. Как можно уменьшить частоту собственных колебаний оборудования?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

«Расчет буферных устройств»

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета пружинных буферных устройств.

Задачи работы: изучить методику расчета пружинных буферных устройств, выполнить расчет.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Одна из задач обеспечения безопасности при эксплуатации грузоподъемных кранов является ограничение перемещения крана на концевых участках пути. Для исключения ударных нагрузок в ограничителях перемещения крана применяются буферные устройства.

Энергоемкость буферного устройства определяется из условия поглощения буфером кинетической энергии движущегося крана. При этом скорость принимается равной номинальной скорости и груз при гибкой подвязке (на канате0 не учитывается. Расчетные уравнения

$Э = m v^2 / 2$; $A = P_{ср} L$; $P_{ср} = (P_{макс} - 0) /2 = P_{макс} / 2$;

$Э = A$; $m v^2 / 2 = P_{ср} L$;

$$m v^2 = P_{макс} L. \qquad (1)$$

где Э – кинетическая энергия движения крана, Дж;

A – работа по торможению крана, Дж;

m- масса крана, кг;

v – скорость движения крана, м/с;

$P_{ср}$ – среднее усилие сопротивления движению крана, Н;

$P_{макс}$ – максимальное усилие в пружине амортизатора при максимальном сжатии пружины, Н;

L – длина хода амортизатора, м.

Торможение для механизмов принимается с замедлением равным a = 1 м/с.
Длина хода амортизатора L определяется из формулы

$$L = v_{ср} t = v^2_{макс} /2 a , \qquad (2)$$

Для пружинного амортизатора жесткость пружины определяется из отношения

$q = P_{макс} / L$.

Подставив значение $P_{макс}$ в формулу (1) получим

$$q = m v^2 / L^2 , \qquad (3)$$

где q - жесткость пружины, Н / м.

Если применяются два амортизатора, то жесткость одного амортизатора принимается в два раза меньше.

Геометрические размеры пружинных буферных устройств определяются в следующем порядке.

Рассчитывается диаметр прутка пружиныы по формуле:

$$d = 1{,}6 (К_д P_1 C / \sigma_{кр})^{1/2} , \qquad (4)$$

где $C = D / d$, принимается от 4 до 10,

P_1 – максимальное усилие на одну пружину, Н;

$\sigma_{кр}$ – допустимое напряжение материала пружины на кручение ($4{,}4 \cdot 10^8$ Н / м^2);

$К_д$ – коэффициент деформации пружины;

При отношении C = 4 коэффициент $К_д = 1{,}4$;

C = 6 $К_д = 1{,}25$;

C = 8 $К_д = 1{,}18$;

C = 10 $К_д = 1{,}15$.

Диаметр пружины

$$D = C \cdot d.. \qquad (5)$$

Число рабочих витков пружины

$$i = G d / 8 q C^3 , \qquad (6)$$

где G – модуль упругости для стали ($G = 7{,}85\ 10^{10}$ Н/м^2).

Полное число витков пружины

$$i_{пол} = i_1 + i_2 , \qquad (7)$$

где i_1 – число рабочих витков пружины;

i_2 – нерабочее число витков пружины ($i_2 = 1{,}5$ при i_1 меньше 7, $i_2 = 2$ при i_1 больше или равно 7).

Шаг витка $h = 0{,}25 D$. (8)

Высота ненагруженной пружины

$H_0 = i_{полн}\, h + (i_2 - 0{,}5)\, d$. (9)

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1/ Рассчитать пружинное буферное устройство по варианту, заданному преподавателем.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить теоретические методику расчета пружинных буферных устройств.

4,2. Выполнить расчет пружинного буферного устройства.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схему буферного устройства, исходные данные и расчет параметров пружины.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Как определяется кинетическая энергия движущегося крана?

6.2. Как определяется работа на сжатие пружины буферного устройства?

6.3. По какой формуле определяется жесткость пружины?

6.4. От каких параметров зависит расчетное значение диаметра прутка пружины?

6.5. Какова зависимость между жесткостью пружины и параметрами пружины?

Список литературы

1. Сборник заданий и типовых расчетов по охране труда для факультета М. Учебн. Пособие.Под ред. С.В.Белова, М.: МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1981.- 72 с.

"Определение доз внешнего облучения от гамма-излучающих радионуклидов"

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета доз внешнего облучения от гамма-излучающих радионуклеидов (от точечного источника и от равномерно распределенного по поверхности земли).

Задачи работы: изучить понятия экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз облучения от гамма-излучающих радионуклеидов, рассчитать эквивалентные дозы облучения организма человека от точечных источников и от равномерно распределенных по поверхности земли, сравнить с предельно допустимыми дозами.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Ионизирующее излучение, радионуклиды, радиоактивный распад

Во многих областях практической деятельности людей применяются радиоактивные вещества и источники ионизирующих излучений.

При помощи радиоактивных изотопов проводится контроль качества изделий (рентгеновскими и гамма-дефектоскопами), управление технологическими операциями (радиоизотопными датчиками и измерителями), включение пожарной сигнализации (дымовыми извещателями) и т.д.

Кроме этого люди постоянно подвергаются воздействию внешнего ионизирующего излучения от солнца и поверхности земли.

Ионизирующее излучение - излучение, воздействие которого со средой приводит к образованию ионов разных знаков. Основными источниками ионизирующего излучения являются радионуклиды - разновидности атомов с данным массовым числом и атомным номером. Массовое число нуклида указывается вверху слева от символа химического элемента, например, нуклид стронция ^{90}Sr , нуклид цезия ^{137}Cs .

Один и тот же элемент может иметь разные массовые числа и разновидности этого элемента называются изотопами, например, ^{131}I и ^{133}I.

Радиоактивный распад сопровождается корпускулярным излучением (α-частиц, β-частиц, нейтронов и т.п.), или фотонным излучением (гамма или рентгеновским):

α-частицы являются ядрами атомов гелия, несущими положительный заряд. Они имеют незначительный пробег (в воздухе от 2 до 9 см, в биологических тканях - от 0.02 до 0.06 мм), но высокой степенью ионизации. При внешнем облучении α-частицы не представляют опасности, но при

попадании внутрь организма радиоактивных веществ в виде пыли они очень опасны;

β-частицы представляют собой поток электронов или позитронов, в воздухе они могут пройти до 40 м, а в биологической ткани - до 12 мм. Плотность ионизации атомов среды β-частицами в десятки раз меньше, чем при ионизации α-частицами;

γ-лучи это электромагнитное излучение с длиной волны приблизительно 10^{-12} м и частотой около 10^{20} Гц. Эти лучи обладают значительно меньшей, чем α-частицы, ионизирующей способностью, но высокой проникающей способностью (бетонные стены толщиной 5 см ослабляют γ-излучение в два раза);

рентгеновские лучи - это коротковолновое электромагнитное излучение с длиной волны от 10^{-7} до 10^{-12} м. Они, также как γ-лучи, обладают высокой проникающей способностью.

2.2 Активность радионуклидов

Активность радионуклидов A - это число самопроизвольных случайных распадов или число испускаемых частиц ΔN в единицу времени Δt:

$$A = \Delta N / \Delta t . \qquad (1)$$

Единицей активности является Бк (беккерель), 1 Бк = 1 расп/с.

Также единицей активности является Ku (кюри), 1 Ku = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Активность радионуклидов со временем уменьшается по экспоненциальному закону. Изменение активности описывается формулой

$$A_t = A_0 \exp(-0{,}693\, t / T_{1/2}), \qquad (2)$$

где A_t - активность радионуклида по прошествии времени t;

A_0 - активность радионуклида в начальный период (t = 0);

t - время;

$T_{1/2}$ - период полураспада, т.е. время в течение которого распадается половина радиоактивных атомов.

Если $t = T_{1/2}$, то $A_t = A_o / e^{0{,}693} = A_o / 2$.

Период полураспада у некоторых радионуклидов составляет несколько суток, а у некоторых - годы (таблица 1).

Таблица 1 – Радиобиологические свойства радионуклидов

Нуклид	Эффективная энергия $E_{эф}$, $\frac{МэВ}{расп}$	Гамма постоянная Kγ, $\frac{Р \cdot см^2}{ч \cdot мКи}$	Период полураспада $T_{1/2}$, сут	Критический орган	Доля нуклида, попадающая в рассматриваемый орган		Период полувыведения из организма $T_{В/2}$, сут
					При заглатывании $f_З$	При вдыхании $f_{вд}$	
^{60}CO	1,5	6,75	$1{,}9 \cdot 10^3$	Все тело Печень	0,3 0,001	0,45 0,02	9,5 9,5
^{131}J	0,41	1,69	8	Все тело. Щитовид железа	1,0 0,3	0,75 0,23	138 138
^{137}Cs	0,59	3,19	$1{,}1 \cdot 10^4$	Все тело	1,0	0,75	70
^{226}Ra	110	9,36	$5{,}9 \cdot 10^5$	Все тело	0,3	0,4	$8{,}1 \cdot 10^3$
^{90}Sr	1,1	2,94	$1 \cdot 10^4$	Скелет	0,3	0,12	$1{,}8 \cdot 10^4$
^{235}U	46	0,51	$2{,}6 \cdot 10^{11}$	Все тело Кости Почки	$1 \cdot 10^4$ $0{,}1 \cdot 10^{-5}$ $1{,}1 \cdot 10^{-5}$	0,25 0,028 0,028	100 300 15

2.3 Экспозиционная доза

Экспозиционная доза является качественной характеристикой фотонного излучения (рентгеновского и гамма-излучения), она определяется по ионизации воздуха, т.е. когда поглощенная энергия в некотором объеме воздуха равна суммарной кинетической энергии электронов и позитронов, образованных фотонным излучением в том же объеме.

Непосредственно измеряемой физической величиной при определении экспозиционной дозы γ-излучения является электрический заряд ионов одного знака, образованных в воздухе за время облучения:

$$D_{эксп} = Q / m , \qquad (3)$$

где $D_{эксп}$ - экспозиционная доза, Кл/кг;

Q - полный заряд ионов одного знака, Кл;

m - масса объема воздуха, кг.

Внесистемной единицей экспозиционной дозы является рентген (Р),

$$1\ Р = 0{,}285\ мКл/кг.$$

2.4 Поглощенная доза

Поглощенная доза характеризует изменения, происходящие в облучаемом веществе (воздухе, воде, дереве, железе и т.д.).

Поглощенная доза - это энергия, передаваемая веществу массой в одну единицу:

$$D_{погл} = E / m, \qquad (4)$$

где $D_{погл}$ - поглощенная доза, Дж/кг;

E - энергия ионизирующего излучения, поглощенная облучаемым веществом, Дж;

m - масса облучаемого вещества, кг.

В системе СИ поглощенная доза измеряется в Гр (грей):

$$1\ Гр = 1\ Дж/кг.$$

В практике часто используется специальная единица поглощенной дозы - рад. Один рад соответствует такой поглощенной дозе, при которой количество энергии, выделяемой одним граммом любого вещества, равно 0,01 Дж, т.е.

$$1рад = 0{,}01\ Дж/кг = 0{,}01 Гр.$$

Поглощенная доза связана с экспозиционной дозой следующим соотношением:

$$D_{погл} = D_{эксп} \cdot K_1, \qquad (5)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий вид облучаемого вещества (воздух, вода и т.п.), т.е. учитывающий отношение энергии, поглощенной данным веществом, к электрическому заряду ионов, образованных в воздухе такой же массы.

При экспозиционной дозе в 1 Р энергия γ-излучения, расходуемая на ионизацию 1 г воздуха, равна 0,87 рад, т.е. для воздуха

$$K_1 = 0{,}87\ рад/Р = 0{,}87 \cdot 0{,}01\ Дж/кг = 0{,}87 \cdot 0{,}01\ Гр/Р.$$

Поскольку ткани организма имеют несколько иной эффект поглощения по сравнению с водой, то используются переводные коэффициенты для различных тканей тела человека:

для воды в организме $K_1 = 0{,}887...0{,}975$ рад/Р,
для мышц $K_1 = 0{,}933...0{,}972$ рад/Р,
для костей $K_1 = 1{,}03...1{,}74$ рад/Р.

В целом для организма человека при облучении от γ-источника

коэффициент $К_1$ = 1 рад/Р = 0,01 Гр/Р.

2.5 Эквивалентная доза

Эквивалентная доза учитывает не только энергию, передаваемую веществу, но и те биологические эффекты, которые производит проникающая радиация в теле человека:

$$D_{экв} = D_{погл} \cdot К_2 = D_{эксп} \cdot К_1 \cdot К_2 , \qquad (6)$$

где $D_{экв}$ - эквивалентная доза, Зв;

$К_2$ - коэффициент качества облучения (таблица 2).

Таблица 2 – Средние значения коэффициента качества $К_2$

Вид излучения	$К_2$ (Зв/Гр или бэр/рад)
Рентгеновское и γ-излучение	1
Электроны и позитроны, β-излучение	1
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1 - 10 МэВ	10
α-излучение с энергией меньше 10 МэВ	20

В системе СИ единицей измерения эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

Специальной единицей эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рентгена).

Для рентгеновского и γ излучения коэффициенты

$К_1$ = 1 рад/Р, $К_2$ = 1 бэр/рад и 1Р эквивалентен 1 бэр,

т.е. 1Р ⇔1 рад ⇔1 бэр.

Чтобы отметить различие между экспозиционной, поглощенной и эквивалентной дозами, а также единицами измерений эти параметры сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Основные параметры, характеризующее излучение

Параметры	**Единицы измерения**	
	Старая система	**Система СИ**
А – активность радионуклида (количество частиц, вылетающих из вещества в единицу времени)	Бк (беккерель) 1 Бк = 1 расп/с 1 Ku = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк	
$D_{эксп}$ – экспозиционная доза (определяется по ионизации воздуха)	Р (рентген)	Кл/кг
	1 Р = $2{,}6 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг	
$D_{погл}$ – поглощенная доза (определяется по энергии, поглощенной воздухом, водой и другими веществами)	рад	Гр (грей) 1 Гр = 1 Дж/кг
	100 рад = 1 Гр	
$D_{экв}$ – эквивалентная доза (определяется по действию на человека)	бэр	Зв (зиверт)
	100 бэр = 1 Зв	

$$D_{экв} = D_{погл} \cdot K_2 = D_{эксп} \cdot K_1 \cdot K_2$$

Для рентгеновского и γ-излучения 1 Р эквивалентен 1 бэр, т.е. коэффициенты K_1 = 1 рад/Р = 0,01 Гр/Р, K_2 = 1 бэр/рад = 1 Зв/Гр,

1 Р ⇔1 рад ⇔ 1 бэр,

100 Р ⇔ 1 Гр ⇔1 Зв

2.6 Мощность дозы и доза

Мощность экспозиционной, поглощенной или эквивалентной дозы $\dot{D}$ характеризуется дозой, полученной в единицу времени, т.е.

$$\dot{D} = \frac{\Delta D}{\Delta t} \qquad (7)$$

где ΔD - приращение дозы за промежуток времени Δt.

Мощность экспозиционной дозы $\dot{D}_{эксп}$ измеряется в системе СИ в Кл/(кг· с) ; внесистемными единицами являются Р/с, Р/ч, мР/ч, мкР/ч и др.

Мощность поглощенной дозы $\dot{D}_{погл}$ в системе СИ измеряется в Гр/с, мкГр/с, аГр/с и т.д.

Мощность эквивалентной дозы $\dot{D}_{экв}$ измеряется в системе СИ в Зв/с, мЗв/ч, мкЗв/ч; внесистемными единицами являются бэр/с, бэр/ч и т.д.

Для измерения мощности дозы применяются различные приборы, имеющие ионизационные камеры, камеры с люминесцирующим веществом, химические системы и др.

По измеренным значениям мощности дозы можно определить дозу облучения:

$$D = \int_0^t \dot{D} dt, \tag{8}$$

если мощность дозы не меняется во времени, то

$$D = \dot{D} \cdot t, \ \dot{D} = const, \tag{9}$$

где t - время воздействия ионизирующего излучения.

Для измерения дозы ионизирующего излучения применяются приборы - дозиметры. Сравнительная простота измерения ионизации воздуха привела к тому, что большинство дозиметрических приборов фиксируют экспозиционную дозу.

2.7 Воздействие ионизирующих излучений на организм человека, нормирование доз облучения

Ионизирующее излучение оказывает вредное воздействие на организм человека, но наши органы чувств не приспособлены к их восприятию, поэтому без специальных приборов мы не можем судить о наличии радиации и ее уровне.

Ионизация живой ткани приводит к разрыву молекулярных связей, изменению химической структуры молекул и как следствие - к гибели клеток. Под влиянием излучения происходит расщепление молекул воды с образованием радикалов, которые могут вступать в реакции с веществами. В результате нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ нарушается. Чем больше поглощенная доза, тем больше ионизация и отрицательный биологический эффект.

Красный костный мозг теряет способность нормально функционировать при дозах облучения 0,5...1 Зв (50...100 бэр). Репродуктивные органы и глаза отличаются повышенной чувствительностью к облучению. Однократное облучение семенников при дозе 0,1 Зв приводит к временной стерильности

мужчин, а дозы свыше 2 Зв - могут привести к постоянной стерильности. Облучение глаз при дозе 2...10 бэр/год в течение 10 - 20 лет приводит к гибели клеток хрусталика глаза, появлению помутневших участков хрусталика (катаракте), а затем и полной слепоте.

Рак - наиболее серьезное из всех последствий облучения человека при малых дозах. Вероятность заболевания раком растет прямо пропорционально дозе облучения. Первыми в группе раковых заболеваний стоят лейкозы, они вызывают гибель людей в среднем через 10 лет с момента облучения. Далее - рак молочной железы и рак щитовидной железы; эти виды заболеваний в начальной стадии излечимы.

Рак желудка, печени, толстой кишки и т.д. встречаются реже. Рак легких практически неизлечим.

У людей, получающих малые дозы облучения, наблюдается повышенное содержание клеток крови с хромосомными нарушениями. Эти нарушения проявляются в следующем или последующих поколениях (это дети, внуки и более отдаленные потомки).

Если облучение производится не однократно, а в этой дозе растянуто во времени, то эффект облучения будет снижен. Это связано с тем, что живые организмы, в том числе и человек, способны восстанавливать нормальную жизнедеятельность после нарушений.

Условия безопасной работы с радиоактивными веществами регламентированы Нормами радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87 [1].

Радиационному воздействию могут подвергаться не только лица, непосредственно работающие с радиоактивными веществами, но и население, поэтому нормами НРБ-76/87 установлены предельно допустимые уровни облучения в зависимости от категории облученных лиц и группы критических органов (таблица 4).

Таблица 4 – Дозовые пределы облучения

Дозовые пределы внешнего и внутреннего облучения, бэр за год	**Критическая группа органов**		
	1 (все тело, половые железы и красный костный мозг)	2 (мышцы, щитовидная железа, внутренние органы)	3 (кожный покров, костная ткань, кисти рук, стопы)
ПДД для категории А (профессиональные работники, постоянно или временно работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучения)	5	15	30
ПД для категории Б (население, не работающее непосредственно с источниками излучения, но может подвергаться воздействию радиоактивных веществ)	0,5	1,5	3

2.8 Определение доз облучения от точечных источников гамма-излучения

Величина мощности экспозиционной дозы от точечного источника (рисунок 1) прямо пропорциональна активности радионуклида и обратно пропорциональна квадрату расстояния до него. Кроме этого, разные радионуклиды при одинаковой активности создают разную величину экспозиционной дозы, что учитывается гамма-постоянной:

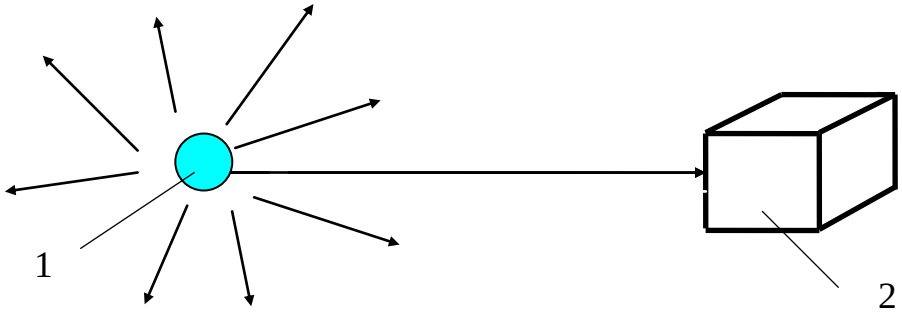
$$\dot{D}_{эксп} = \frac{K_{\gamma} \cdot A}{R^2}, \qquad (10)$$

где $\dot{D}_{эксп}$ - мощность экспозиционной дозы, Р/ч;

K_{γ} - гамма-постоянная радионуклида, Р·см ^{2} / (ч ·мКu);

A - активность радионуклида, мКu;
R - расстояние от точечного радионуклида до места измерения, см.

Гамма-постоянная показывает, какую мощность экспозиционной дозы создает данный радионуклид активностью 1 мКu на расстоянии 1 см. За эталон принят радий-226 массой 1 мг, заключенный в платиновую упаковку толщиной 0,5 мм, который создает на расстоянии 1 см мощность дозы $D_{эксп}$ = 8,4 Р/ч. Значения гамма-постоянных приведены в таблице 1, например, для цезия-137 K_γ = 3,19 Р·см ^{2}/(ч·мКu).



1- точечный источник γ-излучения; 2 - облучаемое вещество

Рисунок 1 – Схема для расчета мощности экспозиционной и поглощенной дозы

Для определения дозы облучения от точечных источников γ-излучения обычно используется формула (9), т.е. принимается мощность дозы постоянной во времени.

2.8.1. Пример. Определить эквивалентную дозу и сравнить с допустимой, полученной рабочим от точечного изотропного источника ^{60}Co активностью $1{,}1\cdot10^{-2}$ Ku, если он работает с источником в течение всего рабочего времени на расстоянии 0,8 м. Продолжительность рабочего времени для персонала составляет 1700 ч/год (36-часовая рабочая неделя).

Решение.

Определяем мощность экспозиционной дозы на рабочем месте по формуле (10):

$$\dot{D}_{эксп} = \frac{K_\gamma \cdot A}{R},$$

где значение гамма-постоянной выбираем из таблицы 1.

$$\dot{D}_{эксп} = \frac{6{,}75 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3}{80^2} = 0{,}0116 \text{ Р/ч.}$$

Экспозиционную дозу, полученную рабочим за год, определяем по формуле (9)

$$D_{эксп} = \dot{D}_{эксп} \cdot t = 0{,}0116 \cdot 1700 = 19{,}7 \text{ Р/год.}$$

Эквивалентная доза, полученная рабочим, составляет

$$D_{эксп} = \dot{D}_{эксп} \cdot K_1 \cdot K_2 = 19{,}7 \cdot 1 \cdot 1 = 19{,}7 \text{ бэр/год,}$$

т.е. она превышает почти в 4 раза предельно допустимую дозу для категории А (таблица 4).

2.8.2 Пример. На расстоянии R = 0,3 м от точечного источника радионуклида ^{60}Co мощность эквивалентной дозы от γ-излучения составляет $D_{экв} = 450$ мкЗв/ч. На каком расстоянии от источника ($R_{пдд}$) можно работать, чтобы доза облучения персонала не превышала ПДД при 36-часовой рабочей неделе и равномерном распределении дозы в течение года?

Решение.

Эквивалентную дозу, полученную рабочим за год, определяем по формуле (9)

$$D_{экв} = \dot{D}_{экв} \cdot t = 450 \cdot 10^{-6} \cdot 1700 = 0{,}765 \text{ Зв/год.}$$

Полученная доза превышает ПДД (0,05 Зв/год) в 15,3 раза, поэтому необходимо увеличить расстояние от источника излучения до рабочего места.

Мощность дозы, а следовательно и доза, уменьшаются с увеличением квадрата расстояния (по зависимости 10), поэтому требуемое расстояние $R_{пдд}$ можно вычислить по отношению

$$\dot{D}_{эксп} \cdot R^2 = \dot{D}_{эксп} \cdot R^2_{пдд},$$

$$\dot{D}_{эксп} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot t \cdot R^2 = \dot{D}_{эксп.тр} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot t \cdot R^2_{пдд},$$

$$\dot{D}_{экв} \cdot R^2 = ПДД \cdot R^2_{пдд}, \qquad (11)$$

$$R_{пдд} = \sqrt{\frac{\dot{D}_{экв} \cdot R^2}{ПДД}} = \sqrt{\frac{0{,}765 \cdot 0{,}3^2}{0{,}05}} = 1{,}17 \text{ м.}$$

Таким образом получено, что расстояние от источника излучения до рабочего места должно быть не менее 1,17 м.

2.9 Определение доз от γ-излучения радионуклидов, находящихся в почве, путем измерения мощности эквивалентной дозы прибором

При определении эквивалентной дозы облучения человека от γ-излучающих радионуклидов, находящихся в земле, можно использовать формулу (1.9). Кроме этого, необходимо учитывать экранирование тканей человека другими тканями, а также стенами зданий и сооружений. Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР) рекомендует использовать усредненное значение коэффициента ослабления поглощенной дозы в теле человека по сравнению с поглощенной дозой в воздухе $K_{нкдар}$=0,7.

Измерив мощность эквивалентной дозы облучения на высоте 1 м от поверхности земли, можно определить дозу, полученную человеком:

$$D_{экв} = \dot{D}_{экв} \cdot t \cdot K_{нкдар}, \qquad (12)$$

где D экв - эквивалентная доза облучения человека, Зв;

$\dot{D}_{экв}$ - мощность эквивалентной дозы облучения, Зв/ч;

t - время нахождения человека в данном районе, ч.

2.9.1 Пример. Оценить опасность нахождения людей на территории, если мощность эквивалентной дозы облучения человека на расстоянии 1 м от поверхности земли составляет 0,6 мкЗв/ч.

Решение.

Годовая эквивалентная доза рассчитывается по формуле (12):

$$D_{экв} = \dot{D}_{экв} \cdot t \cdot K_{нкдар} =$$
$$= 0{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0{,}7 = 0{,}0037 \text{ Зв/год}.$$

Предельно допустимая доза для населения (категория Б, таблица 4) $ПДД_Б$ = 0,5 бэр/год = 0,005 Зв/год. То есть эквивалентная доза $D_{экв}$ меньше $ПДД_Б$ в 1,3 раза.

2.10 Определение доз от γ-излучения радионуклидов, находящихся в почве, по величине активности единицы площади земной поверхности

Доза γ-излучения от земной поверхности обычно определяется для

точки на высоте H от земли и считается, что основное излучение попадает в эту точку с площади круга радиусом $3 \cdot H$ (рисунок 2).

Формула расчета мощности дозы облучения в этом случае:

$$\dot{D}_{эксп} = \pi \cdot A_s \cdot K_\gamma \cdot \ln \frac{H^2 + R^2}{H^2}, \qquad (13)$$

где $\dot{D}_{эксп}$ - мощность экспозиционной дозы γ-излучения от земной поверхности, Р/ч;

A_S - среднегодовая активность (плотность загрязнения радио нуклидами) поверхности земли, мКu/см ^{2};

H - высота над поверхностью земли, м;

R - радиус круга земной поверхности, м.

Для определения дозы, полученной человеком, принимается H=1м, R = 3 м.

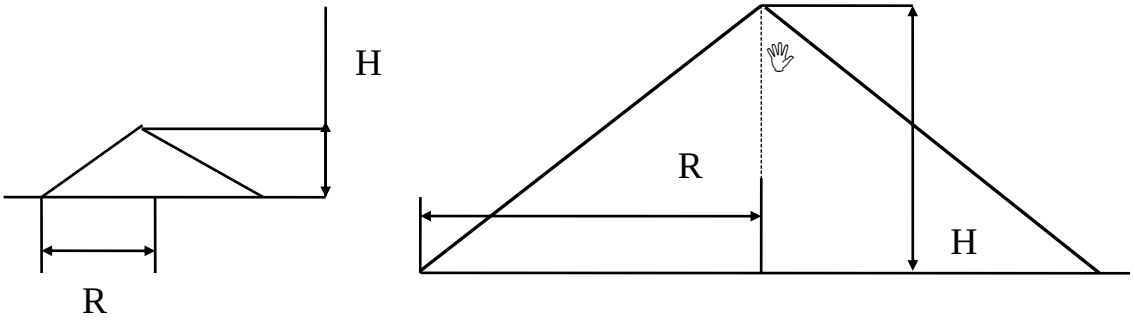


Рисунок 2 – Схема определения дозы γ-излучения от поверхности земли

2.10.1 Пример. Определить эквивалентную дозу облучения, полученную человеком за год, если среднегодовая активность поверхности земли от цезия-137 составляет $2 \cdot 10^6$ Бк/м ^{2}.

Решение.

Мощность экспозиционной дозы определяем по формуле (13)

$$\dot{D}_{эксп} = \pi \cdot A_s \cdot K_\gamma \cdot \ln \frac{H^2 + R^2}{H^2},$$

где активность

$$A_s = 2 \cdot 10^6 \text{Бк/м}^2 = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{3{,}7 \cdot 10^{10} \cdot 10^4} \text{мКu/см}^2 = 5{,}4 \cdot 10^{-6} \text{мКu/см}^2;$$

$$\dot{D}_{эксп} = \pi \cdot 5{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}19 \cdot \ln \frac{1^2 + 3^2}{1^2} = 1{,}2 \cdot 10^{-4} \text{р/ч}.$$

Эквивалентную дозу, полученную человеком за год, вычисляем по формуле (12)

$$D_{экв} = \dot{D}_{экв} \cdot t \cdot K_{нкдар} = 1{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0{,}7 = 7{,}36 \cdot 10^{-3} \text{Зв/год}.$$

Эта доза примерно в 1,5 раза выше ПДД для населения.

2.11 Ориентировочная оценка радиационного загрязнения поверхности земли

Для ориентировочной оценки радиационного загрязнения поверхности земли обычно используют измерительные приборы установленные на вертолете. Вертолет пролетает на высоте 100 м от земли параллельными маршрутами через 600 м и затем строится карта. Таким образом были построены карты радиационного загрязнения (Ku/км^2) поверхности земли в Тульской области.

В случае загрязнения территории цезием-137 от Чернобыльской АЭС расчет доз внешнего облучения можно производить с помощью дозовых коэффициентов

$$D_{экв} = A_т \cdot d, \qquad (14)$$

где $D_{экв}$ - годовая эквивалентная доза облучения, бэр/год;

$A_т$ - среднегодовая плотность загрязнения территории, Ku/км ^{2};

d - дозовый коэффициент, бэр · км ^{2}/ (Ku·год).

Таблица 5 – Значения коэффициента d с учетом ослабления внешнего облучения зданиями

Тип населенного пункта	Значение коэффициента d, бэр·км^2/(Ku·год)
Города областного и республиканского подчинения	0,006
Города районного подчинения и поселки городского типа	0,009
Все населенные пункты, кроме поселков городского типа	0,013

2.11.1 Пример. Определить годовую эквивалентную дозу облучения населения, если плотность загрязнения поверхности земли составляет 40 Ku/км ^{2}.

Решение.

Годовая эквивалентная доза облучения людей рассчитывается по формуле (14):

$$D = 40 \cdot 0{,}009 = 0{,}36 \text{ бэр/год},$$

то есть доза ниже предельно допустимой.

3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Оценить опасность облучения оператора гамма-излучением от точечного источника, находящегося на расстоянии R от рабочего места. Вид и активность радионуклида, а также расстояние R выбрать из таблицы 6 по варианту.

Время работы оператора 36 ч в неделю (1700 ч в год).

Таблица 6 – Данные для задачи 3.1

Номер варианта	Вид радионуклида	Активность A, мKu	Расстояние R, м
1	^{60}Co	2	0,4
2	^{90}Sr	4	0,5
3	^{131}J	6	0,6
4	^{137}Cs	8	0,7
5	^{236}U	10	0,8
6	^{60}Co	12	0,4
7	^{90}Sr	14	0,5
8	^{131}J	16	0,6
9	^{137}Cs	18	0,7
10	^{236}U	20	0,8

Порядок расчета:

- определить мощность экспозиционной дозы по формуле (10);
- рассчитать мощность эквивалентной дозы по формуле (6);
- рассчитать годовую эквивалентную дозу по формуле (9);
- сравнить полученное значение дозы с ПДД для категории А по таблице 4, и сделать вывод: во сколько раз доза выше или ниже ПДД;

3.2. Определить безопасное расстояние от источника γ-излучения до рабочего места оператора, если измеренная мощность эквивалентной дозы на расстоянии R составляет $\dot{D}_{экв}$ (таблица 7).

Время работы оператора 1700 ч/год.

Таблица 7 – Данные для задачи 3.2

Номер варианта	Расстояние R, м	Мощность эквивалентной дозы $\dot{D}$, мкЗв/ч
1	0,1	500
2	0,2	400
3	0,3	300
4	0,4	200
5	0,5	100
6	0,1	800
7	0,2	600
8	0,3	400
9	0,4	300
10	0,5	200

Порядок расчета:

- определить годовую эквивалентную дозу по формуле (9);
- рассчитать безопасное расстояние из соотношения (11).

3.3. Оценить опасность облучения населения, постоянно подвергающегося воздействию ионизирующего излучения от земли, содержащей радионуклиды. Значения мощности экспозиционной дозы $\dot{D}_{эксп}$ на расстоянии 1 м от земли приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Данные для задачи 3.3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\dot{D}_{эксп}$, 4 мкР/ч	90	80	70	60	50	45	40	35	30	20

Порядок расчета:

- определить мощность эквивалентно дозы по формуле (6);
- определить годовую эквивалентную дозу с учетом коэффициента НКДАР по формуле (12);
- сравнить расчетную эквивалентную дозу с ПДД для населения по таблице 4 и сделать вывод.

3.4. Оценить опасность облучения населения постоянно подвергающегося воздействию ионизирующего излучения от земли, содержащей цезий-137.

Значения активности А цезия-137 в поверхностном слое земли даны в таблице 9.

Таблица 9 – Данные для задачи 3.4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А, Ku/км^2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Порядок расчета:

- определить годовую эквивалентную дозу по формуле (14);
- сравнить полученную дозу с $ПДД_Б$ по таблице 4 и сделать вывод: во сколько раз $D_{экв}$ больше (или меньше) $ПДД_Б$;

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить теоретические сведения об ионизирующем излучении и методах расчета доз облучения.

4.2 Решить задачи 3.1 ...3.4 согласно варианту.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название, цель работы, основные параметры, характеризующие ионизирующее излучение (таблица 3), расчеты доз облучения, сравнение полученных данных с ПДД и выводы. Во всех формулах должны быть раскрыты обозначения параметров (т.е. где....) и указаны единицы измерений.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Понятия: активность радионуклида, экспозиционная доза, поглощенная доза, эквивалентная доза, единицы измерения.

6.2. Воздействие ионизирующих излучений на организм человека.

6.3. Нормирование доз облучения.

6.4. Расчет мощности экспозиционной дозы от точечного источника (формула 10)

6.5. Определение доз от гамма-излучения радионуклидов, находящихся в почве.

Список литературы

1. Нормы радиационной безопасности НРБ-96 .

2. Определение доз облучения и уровней риска от γ-излучающих радионуклидов: Учеб. пособие / А.А.Кузнецов, А.М.Лебедев; Тул. политехн. ин-т, Тула, 1992, 36 с.

3. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. М.: Энергоатомиздат, 1990, 160 с.

4. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Атомиздат, 1977, 384 с.

"Защита от электромагнитных полей высокочастотных установок для нагрева материалов"

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета напряженности магнитного поля от нагревательных печей и размеров защитных экранов.

Задачи работы: изучить методику расчета напряженности магнитного поля, рассчитать Н от нагревательной печи, рассчитать размеры экрана.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Общие сведения об электромагнитных полях. Воздействие ЭМП на человека

Промышленными источниками электромагнитных полей являются высоковольтные линии электропередач, высокочастотные установки для нагрева материалов, радиотехнические и электронные устройства, антенны и др.

Электромагнитное поле (ЭМП) это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Переменное ЭМП представляет собой совокупность магнитного и электрического полей. Электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях, а магнитное - при прохождении тока по этим частям.

Электромагнитное поле обладает энергией и распространяется в виде электромагнитных волн. Скорость распространения колебаний в воздухе v равна скорости света $3 \cdot 10^8$ м/с. Длина волны зависит от частоты

$$\lambda = \frac{\upsilon}{f}, \qquad (1)$$

где λ - длина волны, м;

υ - скорость распространения колебаний, м/с;

f - частота колебаний, Гц.

Электромагнитные поля радиочастот делятся на три диапазона:

Наименование диапазона	Частота колебаний	Длина волны
Высокие частоты (ВЧ)	60 кГц... 30 МГц	5 км...10 м
Ультравысокие частоты (УВЧ)	30 МГц...300 МГц	10 м... 1 м

Сверхвысокие частоты (СВЧ)	300 МГц...300 ГГц	1 м... 1 мм

Примечание: 1 кГц = 10^3 Гц, 1 МГц = 10^6 Гц, 1 ГГц = 10^9 Гц.

Область распространения электромагнитных волн от источника излучения условно разделяют на три зоны: ближнюю (имеющую радиус менее 1/6 длины волны), промежуточную и дальнюю (расположенную на расстоянии более 1/6 длины волны от источника).

В ближней и промежуточной зонах электромагнитная волна еще на сформирована, поэтому интенсивность ЭМП в этих зонах оценивается раздельно напряженностью электрической Е (В/м) и магнитной Н (А/м) составляющих поля.

В дальней зоне воздействие ЭМП оценивается плотностью потока энергии

$$\vec{\Pi} = \vec{E} \cdot \vec{H},$$

где П - плотность потока энергии, Вт/м^2;
Е - напряженность электрической составляющей ЭМП, В/м;
Н - напряженность магнитной составляющей ЭМП, А/м.

Воздействие ЭМП на человека состоит в следующем: в электрическом поле атомы и молекулы, из которых состоит тело человека, поляризуются. Полярные молекулы ориентируются по направлению распространения ЭМП, появляются ионные токи.

Длительное воздействие ЭМП низкой частоты небольшой интенсивности приводит к различным нервным и сердечно-сосудистым расстройствам (головной боли, утомляемости, нарушению сна, боли в области сердца и т.п.).

С увеличением напряженности электромагнитного поля, продолжительности облучения и частоты колебаний воздействие на человека возрастает. При воздействии ЭМП частотой выше 60 кГц наступает нагрев тканей. Облучение особенно вредно для глаз, мозга, половых органов. Облучение глаз вызывает помутнение хрусталика (катаракту). При плотности потока энергии выше 100 Вт/м^2 организм не справляется с отводом образующейся теплоты и температура тела повышается. Это может привести к тепловому удару (головной боли, рвоте, обмороку).

При текущем санитарном контроле (не реже одного раза в год), а также в случае приемки источников ЭМП или изменения их конструкции и режимов работы, производится измерение параметров электромагнитного поля на рабочих местах. Измеренные значения сравниваются с нормативными по ГОСТ 12.1.006-84 [1] и если они не соответствуют, то применяются меры защиты.

2.2 Характеристика источников электромагнитного поля (индукторов и конденсаторов)

Источниками ЭМП высокой частоты (ВЧ) и ультравысокой частоты (УВЧ) на машиностроительных предприятиях являются плавильно-закалочные и сушильные установки. Для индукционного нагрева металла применяются установки (рисунок 1, а), состоящие из трансформатора, выпрямителя, генератора и индуктора. Для нагрева неметаллических материалов (например, древесины) вместо индукционной катушки используется конденсатор (рисунок 1, б). Источниками излучений является индуктор или конденсатор, а также генератор и линия передачи от генератора к индуктору или конденсатору.

Рабочие места по обслуживанию нагревательных установок обычно находятся в ближней зоне воздействия ЭМП, где соотношение напряженностей электрической Е и магнитной составляющей Н зависит от вида источника излучения (конденсатор или индуктор).

Напряженность магнитной составляющей поля (от индуктора) рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{\omega \cdot I \cdot R_{инд}^{2}}{4 \cdot r^{2}} \beta, \qquad (2)$$

где Н - напряженность магнитной составляющей ЭМП на расстоянии r от установки, А/м;

ω - число витков катушки (индуктора);

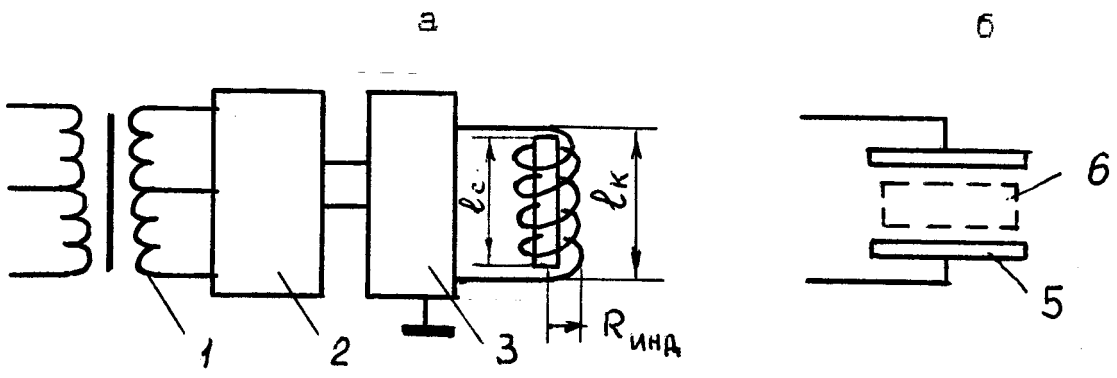
I - сила тока в катушке, А;

$R_{инд}$ - радиус катушки индуктора, м;

r - расстояние от катушки до рабочего места, м;

β - коэффициент, зависящий от отношения $r/R_{инд}$ и $l_к/R_{инд}$, (определяется по кривой рисунок 2.2, при отношении $r/R_{инд}$ больше 10 коэффициент $\beta = 1$);

$l_к$ - высота (длина) катушки индуктора, м.



1 - трансформатор; 2 - выпрямитель; 3 - генератор; 4 - индуктор;
5 - конденсатор; 6 – изделие

Рисунок 1 - Схема генератора для нагрева металла (а)
и нагрева неметаллических материалов (б)

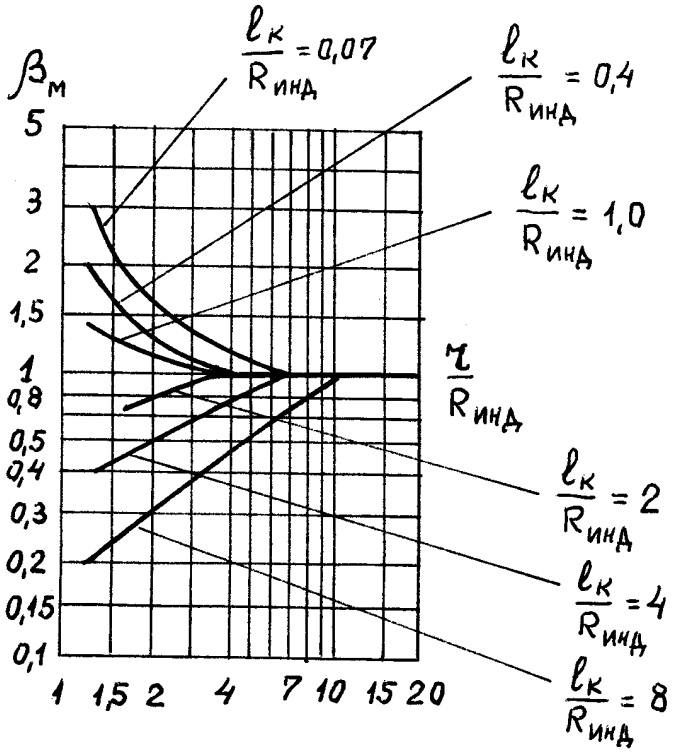


Рисунок 2 – Графики для определения коэффициента β

Напряженность электрической составляющей ЭМП от конденсатора можно рассчитать по формуле:

$$E = \frac{U \cdot S \cdot k}{2\pi \cdot d \cdot r^2}, \qquad (3)$$

где S - площадь пластин конденсатора, $м^2$;

k - коэффициент, зависящий от материала, расположенного между пластинами;

d - расстояние между пластинами конденсатора, м;

r - расстояние от конденсатора до точки, где определяется напряженность, м.

2.3. Нормирование воздействия ЭМП высокой и ультравысокой частот

По ГОСТ 12.1.006-84 [1] в диапазоне частот 60 кГц...300 МГц нормируется напряженность электрической и магнитной составляющих ЭМП, а также энергетическая нагрузка на человека:

$$Э_E = E^2 \cdot T, \qquad (4)$$

$$Э_H = H^2 \cdot T, \qquad (5)$$

где $Э_E$ - энергетическая нагрузка, создаваемая электрическим полем, $(В/м)^2 \cdot ч$;

$Э_H$ - энергетическая нагрузка, создаваемая магнитным полем, $(А/м)^2 \cdot ч$;

T - время воздействия на человека, ч.

Предельно допустимое значение E и H в диапазоне частот 60кГц...300 МГц на рабочих местах персонала следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$E_{ПД} = \sqrt{\frac{Э_{E_{ПД}}}{T}}, \qquad (6)$$

$$H_{ПД} = \sqrt{\frac{Э_{H_{ПД}}}{T}}, \qquad (7)$$

где $E_{пд}$ и $H_{пд}$ - предельно допустимые значения напряженности электрического, В/м, и магнитного, А/м, полей;

$Э_{Eпд}$ и $Э_{Hпд}$ - предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня $(В/м)^2 \cdot ч$ и $(А/м)^2 \cdot ч$.

Таблица 1- Значения $E_{пд}$, $H_{пд}$, $Э_{Eпд}$ и $Э_{Hпд}$

Параметр	Предельные значения в диапазоне, МГц		
	от 0,06 до 3	св. 3 до 30	св.30 до 300
$Е_{пд}$, В/м	500	300	80
$Н_{пд}$, А/м	50	-	-
$Э_{Епд}$, $(В/м)^2 \cdot ч$	20000	7000	800
$Э_{Нпд}$, $А/м^2 \cdot ч$	200	-	-

Одновременное воздействие электрических и магнитных полей в диапазоне частот от 0,06 до 3 МГц следует считать допустимой при условии

$$\frac{Э_Е}{Э_{Е_{ПД}}} + \frac{Э_Н}{Э_{Н_{ПД}}} \le 1. \qquad (8)$$

2.3.1. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц измеренное значение напряженности электрического поля Е = 50 В/м, время воздействия 8 ч. Энергетическая нагрузка

$$Э_Е = Е^2 \cdot Т = 50^2 \cdot 8 = 20\,000\ (В/м)^2 \cdot ч,$$

т.е. при Е = 50 В/м допускается в течение рабочего дня нахождение людей без средств защиты.

2.3.2. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность магнитного поля Н = 50 А/м. Возможное время нахождения людей в этой зоне без средств защиты

$$Т = \frac{Э_{Н_{ПД}}}{Н^2} = \frac{200}{50^2} = 0{,}08ч = 4{,}8мин$$

т.е. время меньше 5 мин. Поэтому $Н_{пд}$ = 50 А/м, и если Н будет выше $Н_{пд}$, то запрещается даже кратковременное пребывание людей в этой зоне без средств защиты.

2.3.3. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность электрической составляющей поля Е = 50 В/м и напряженность магнитной составляющей поля Н = 5 А/м. Определить энергетическую нагрузку при времени работы 4 ч:

$$Э_Е = 50^2 \cdot 4 = 10\,000\ (В/м)^2 \cdot ч,$$

$$Э_Н = 5^2 \cdot 4 = 100\ (А/м)^2 \cdot ч,$$

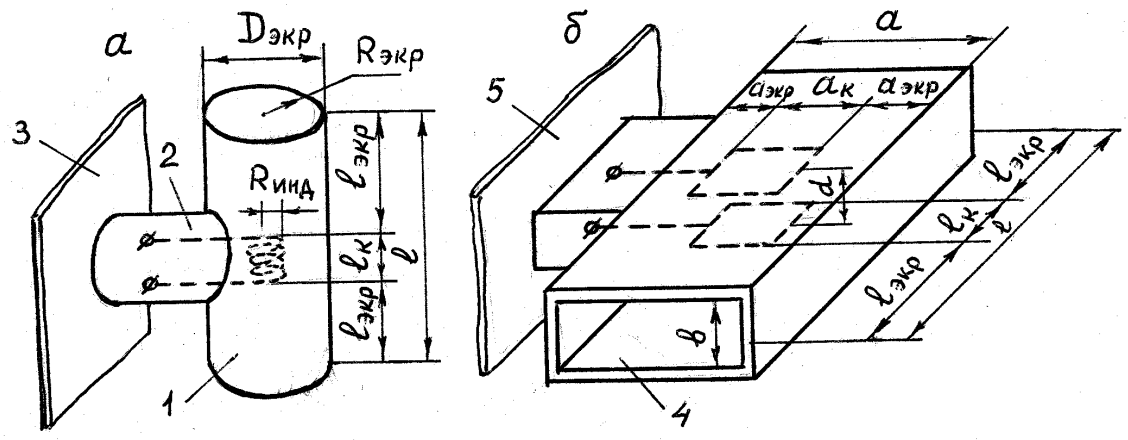
условие

$$\frac{Э_Е}{Э_{Е_{ПД}}} + \frac{Э_Н}{Э_{Н_{ПД}}} = \frac{10000}{20000} + \frac{100}{200} = 1,$$

т.е. допускается работа в течение 4 ч без средств защиты.

2.4. Защита от воздействия электромагнитных полей индуктора и конденсатора

Для защиты обслуживающего персонала от электромагнитных полей индукторов и конденсаторов их экранируют. Форма экрана должна удовлетворять конструктивным и эксплуатационным требованиям. Экраны применяются сплошные с вентиляционными и смотровыми окнами, а также в форме цилиндра или прямоугольного параллелепипеда (рисунок 3).



1 - цилиндрический экран; 2 - патрубок; 3 - кожух-экран установки;
4 - коробчатый экран; 5 - экран установки

Рисунок 3 - Экранирование индуктора (а) и конденсатора (б)

2.4.1. Для плавильной печи экран может иметь вид колпака, который ставится на металлическое заземленное основание, подведенное под печь, так что между колпаком и основанием создается хороший электрический контакт и они создают замкнутый экран. Такой экран практически не пропускает электромагнитное излучение. В верхней части колпака вмонтирован вытяжной зонт. Для обеспечения свободного доступа к печи при ее загрузке, выгрузке или ремонте над печью установлен специальный механизм для подъема колпака на высоту до 2 м. Подъем кожуха сблокирован с отключением печи от источника питания.

Если возникает необходимость расчета защитного экрана, имеющего щели или окна, то расчет следует проводить по методике, изложенной в разделе.

2.4.2. При массовом производстве каких либо деталей устраивается конвейерная подача заготовок в нагревательный индуктор.

Конвейер позволяет направлять заготовки в гнезда на значительном расстоянии от индуктора, где напряженность электромагнитного поля меньше. Экран такого индуктора обычно представляет собой полый цилиндр (расположенный вертикально или горизонтально) и патрубок, закрепленный на кожухе-экрана установки (см. рисунок 3, а). Экран изготавливают из листовой стали, алюминия или меди, толщиной не менее 0,8 мм.

Так как экран имеет большие размеры отверстий, то повышение эффективности экранирования получается за счет увеличения длины экрана $l_{экр}$ (см. рисунок 3, а). Расчет экрана такой конструкции приведен в разделе.

Следует отметить, что индуктор создает наиболее мощное излучение, когда в него не введена (как сердечник в индукционную катушку) обрабатываемая заготовка. После введения заготовки в индуктор внешнее излучение резко уменьшается. Поэтому целесообразно установку автоматически включать только после введения заготовки в индуктор.

2.4.3. При диэлектрическом нагреве рабочие конденсаторы, как правило, помещаются в специальных камерах, которые следует экранировать. Если же рабочий конденсатор должен находиться в помещении открыто, его можно экранировать аналогично нагревательному индуктору - прямоугольной полой трубой из тех же материалов (см. рисунок 3, б).

Эффект защиты от электромагнитных полей при диэлектрическом нагреве будет значителен, если применить педальное включение конденсатора или конвейерную подачу обрабатываемых заготовок в зону нагрева.

2.5 Методика и пример расчета экрана индуктора высокочастотной установки для нагрева металла

2.5.1. Методика расчета экрана индуктора состоит в следующем. Вначале вычисляется напряженность магнитной составляющей поля Н от индуктора по формуле (2). Сравнивается полученное значение Н с допустимым значением $Н_д$ по ГОСТ 12.1.006-84. Определяется требуемая эффективность экранирования

$$Э_{тр} = \frac{Н}{Н_д}, \qquad (9)$$

где $Э_{тр}$ - требуемая эффективность экранирования;

Н - действующее значение напряженности магнитной составляющей поля, А/м;

$H_д$ - допустимый уровень напряженности магнитной составляющей поля, А/м.

Проектирование экрана проводится с учетом обеспечения доступа к нагревательной установке, возможности механизации процесса загрузки и т.д., а также с учетом минимальной потери энергии в экране.

Радиус цилиндрического замкнутого экрана $R_{экр}$ нагревательной установки для закалки металлов при условии, что потери в нем не превышают 1 % мощности генератора, определяются по формуле из книги [5, с. 197]:

$$R_{экр} \geq 6{,}4R_{инд}\sqrt[3]{\frac{\omega^2 I^2 \rho R_{инд}}{\delta P l_k}}\ , \qquad (10)$$

где $R_{инд}$ - радиус катушки индуктора, м;

ω - число витков катушки:

I - сила тока в катушке, А;

ρ - удельное сопротивление материала экрана (таблица 2), Ом · м;

δ - глубина проникновения (расстояние, на котором напряженность поля уменьшается в е = 2,73 раза), м;

Р- мощность генератора, Вт;

$l_к$ - длина катушки, м.

Глубина проникновения электрического поля

$$\delta = 0{,}52\sqrt{\frac{\rho}{\mu f_M}} = 0{,}03\sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho}{\mu}}\ , \qquad (12)$$

где μ - относительная магнитная проницаемость материала экрана (таблица 2.2);

$f_м$ - частота колебаний электромагнитного излучения, МГц;

λ - длина волны ЭМП, м.

Таблица 2 – Характеристики материалов экранов

Материал	Удельное сопротивление ρ, Ом · м	Относительная магнитная проницаемость
Алюминий	$0{,}28 \cdot 10^{-7}$	1
Медь	$0{,}17 \cdot 10^{-7}$	1
Сталь	$1{,}5 \cdot 10^{-7}$	150

Проверяется значение $R_{экр}$ по условию, что расстояние между витками индуктора и стенками цилиндра должна быть не менее радиуса индуктора, то есть

$$R_{экр} \geq 2R_{инд}\ , \qquad (12)$$

где $R_{инд}$ - радиус витков индуктора (рисунок 2.3), м.

Высота экрана определяется из формулы эффективности экранирования [6, с. 95]:

$$Э_{экр} = \exp(3{,}6 \cdot l_{экр}/D_{экр}), \qquad (13)$$

только в место $Э_{экр}$ подставляется $Э_{тр}$,

$$l_{экр} = \frac{D_{экр}}{3{,}6} \ln Э_{тр}, \qquad (14)$$

где $Э_{экр}$ - эффективность экранирования, т.е. величина, показывающая во сколько раз напряженность поля в данном месте уменьшилась в результате экранирования;

$l_{экр}$ - расстояние по оси индуктора от его крайних витков до краев цилиндра экрана, м;

$D_{экр}$ - диаметр цилиндра экрана, м.

Если в результате расчета стального экрана его габариты получаются большими, то целесообразно применить алюминий или медь.

На эффективность экрана не влияет его толщина, т.к. для экранирования достаточно очень тонкого слоя металла. Поэтому толщина экрана принимается из условия прочности равной 0,8...2 мм.

В результате расчета размеров экрана его эффективность должна быть больше требуемого значения, т.е.

$$Э_{экр} \geq Э_{тр}. \qquad (15)$$

2.5.2. Пример. Рассчитать экран плавильной печи установки ЛП-37: радиус печи (катушки индуктора) $R_{инд}$ = 0,13 м, высота печи (катушки) $l_к$ = 0,35 м, мощность плавильной печи P = 60 кВт, число витков катушки индуктора ω=25, сила тока в катушке I = 260 А, частота f = 70 кГц, радиус сердечника (нагреваемого материала) $R_с$ = 0,09 м, высота сердечника (длина) $l_с$ = 0,35 м, расстояние от оси катушки до рабочего места r = 0,8 м.

Решение проводим в следующем порядке.

По формуле (2) вычисляем значение магнитной составляющей напряженности поля на рабочем месте, когда индуктор без экрана

$$H = \frac{\omega \cdot I \cdot R_{инд}^2}{4 \cdot r^2} \beta = \frac{25 \cdot 260 \cdot 0{,}13^2}{4 \cdot 0{,}8^2} \cdot 1 = 42{,}9 \text{ А/м},$$

где β выбрано по графику (рисунок 2) по значениям

$$r/R_{инд} = 0{,}8 / 0{,}13 = 8 \text{ и } l_к / R_{инд} = 0{,}35 / 0{,}13 = 2{,}7, \beta = 1.$$

По ГОСТ 12.1.006-84 в диапазоне частот 60 кГц...3 МГц предельно допустимая энергетическая нагрузка в течение рабочего дня $Э_{Нпд}$ составляет 200 $(А/м)^2 \cdot$ ч, т.е. допустимая напряженность магнитного поля

$$H_д = \sqrt{\frac{Э_{Н_{ПД}}}{T}} = \sqrt{\frac{200}{8}} = 5 \text{ А/м}.$$

Для снижения напряженности ЭМП необходимо применять экран. Требуемая эффективность экранирования

$$Э_{тр} = \frac{H}{H_д} = \frac{42{,}9}{5} = 8{,}6.$$

Проверим возможность применения стального цилиндрического экрана (рисунок 3, а). Диаметр экрана выбираем из условия, что ослабление магнитного поля в печи (в индукторе с сердечником) не будет больше 1 %, то есть по формуле (10):

$$R_{экр} = 6{,}4 R_{инд} \sqrt[3]{\frac{\omega^2 I^2 \rho R_{инд}}{\delta \cdot P \cdot l_k}},$$

где δ вычисляется по формуле (11)

$$\delta = 0{,}52 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f_M}} = 0{,}52 \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 10^{-7}}{150 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}} = 0{,}062 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$R_{экр} = 6{,}4 \cdot 0{,}13 \sqrt{\frac{25^2 \cdot 260^2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}13}{0{,}062 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0{,}35}} = 0{,}72 \text{ м}.$$

Полученный радиус экрана из стали очень большой, поэтому применим экран из алюминия.

Для алюминиевого экрана глубина проникновения ЭМП составляет

$$\delta = 0{,}52\sqrt{\frac{0{,}28\cdot 10^{-7}}{1\cdot 70\cdot 10^{-3}}} = 0{,}33\cdot 10^{-3} \quad \text{м},$$

$$R_{экр} = 6{,}4\cdot 0{,}13\sqrt{\frac{25^2\cdot 260^2\cdot 0{,}28\cdot 10^{-7}\cdot 0{,}13}{0{,}33\cdot 10^{-3}\cdot 60\cdot 10^{3}\cdot 0{,}35}} = 0{,}24 \quad \text{м}.$$

Проверяем $R_{экр}$ по формуле (15)

$$R_{экр} \geq 2R_{инд},$$

$$0{,}24 < 2\cdot 0{,}13,$$

поэтому принимаем

$$R_{экр} = 2\cdot R_{инд} = 2\cdot 0{,}13 = 0{,}26 \text{ м}.$$

Высоту экрана $l_{экр}$ вычисляем из формулы (14), где $Э_{экр}$ принимаем равной $Э_{тр}$:

$$l_{экр} = \frac{D_{экр}}{3{,}6}\ln Э_{тр} = \frac{0{,}52}{3{,}6}\ln 8{,}6 = 0{,}31 \quad \text{м}.$$

Общая длина экрана

$$l = l_к + 2\cdot l_{экр} = 0{,}35 + 2\cdot 0{,}31 = 0{,}97 \text{ м}.$$

Округляем полученные размеры $D_{экр}$= 0,5 м, l =1 м, тогда $l_{экр}$= 0,325 м. Проверяем эффективность экрана по формуле (2.12)

$$Э_{экр} = \exp(3{,}6\cdot l_{экр} / D_{экр}) = \exp(3{,}6\cdot 0{,}325/0{,}5) = 10{,}4,$$

что больше $Э_{тр}$.

Таким образом принимаем алюминиевый цилиндрический экран диаметром 50 см и общей длиной 1 м. Толщину экрана принимаем из условия прочности равной 1 мм.

2.6 Методика и пример расчета экрана конденсатора высокочастотной установки для диэлектрического нагрева материалов

2.6.1. Методика расчета экрана конденсатора состоит в следующем. Вначале вычисляется напряженность Е по формуле (2.2).

Сравнивается полученное значение Е с допустимым значением $Е_д$ по ГОСТ 12.1.006-84 [1]. Определяется требуемая эффективность экранирования

$$Э_{тр} = \frac{E}{E_д}. \qquad (16)$$

Если в качестве экрана рабочего конденсатора принята прямоугольная труба (см. рисунок 3, б), то расстояние между трубой и пластинами конденсатора должно быть не менее расстояния между пластинами, т.е. высота трубы принимается

$$b \geq 3\,d, \qquad (17)$$

аналогично ширина трубы h должна быть не менее тройной ширины конденсатора

$$h \geq 3h_к. \qquad (18)$$

Эффективность такого экрана приближенно определяется по формуле из книги [6, с. 97]:

$$Э_{экр} = \exp(\pi \cdot l_{экр}/h), \qquad (19)$$

где $l_{экр}$ - расстояние от концов пластин конденсаторов до концов трубы, м;
h - ширина трубы экрана, м.

Для экранирования достаточно использовать тонкий слой металла, поэтому толщина экрана принимается из условия прочности равной 0,8...2 мм.

2.6.2. Пример. Определить минимальные размеры прямоугольного трубчатого экрана для конденсатора установки ЛГД-10. Измерения показали, что рабочий конденсатор установки создает вокруг себя электрическое поле, напряженность Е которого на рабочем месте на расстоянии 0,3 м равна 45 В/м. Рабочая

частота установки 35 МГц. Толщина конденсатора d = 5 см, размеры пластин $h_к \times l_к$ = 15×40 см.

Решение.

По ГОСТ 12.1.006-84 [1] при продолжительности рабочего дня 8ч допустимый уровень электрической составляющей поля $E_д$ при частоте 30...300 МГц составляет

$$E_д = \sqrt{\frac{Э_{E_{ПД}}}{T}} = \sqrt{\frac{800}{8}} = 10 \text{ А/м.}$$

Требуемая эффективность экранирования

$$Э_{тр} = \frac{E}{E_{ПД}} = \frac{45}{10} = 4{,}5.$$

Ширина трубы должна быть не менее

$$h = 3 \cdot h_к = 3 \cdot 0{,}15 = 0{,}45 \text{ м.}$$

Высота трубы не менее

$$b = 3\,d = 3 \cdot 0{,}05 = 0{,}15 \text{ м.}$$

Длина трубы-экрана определяется из формулы (19), где эффективность экрана $Э_{экр}$ принимаем равной требуемому значению

$$Э_{тр} = Э_{экр} = \exp(\pi \cdot l_{экр}/h),$$

$$l_{экр} = \frac{D_{экр}}{\pi} \ln Э_{тр} = \frac{0{,}45}{\pi} \ln 4{,}5 = 0{,}22 \text{ м.}$$

Общая длина трубы экрана

$$l = l_к + 2 \cdot l_{экр} = 0{,}4 + 2 \cdot 0{,}22 = 0{,}84 \text{ м.}$$

Таким образом получены минимальные размеры экрана 84×45×15 см.

3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Рассчитать экран высокочастотной плавильной печи. Параметры

индуктора и расстояние до рабочего места даны в таблице 4.3. В задаче приняты следующие обозначения:

$R_{инд}$ - радиус катушки индуктора печи, м;

$l_к$ - длина катушки индуктора, м;

P - мощность плавильной печи, кВт;

ω - число витков катушки индуктора;

I - сила тока в катушке, А;

f - частота тока, кГц;

r - расстояние от оси катушки до рабочего места, м.

Таблица 3 – Исходные данные для задачи.

Вариант	Параметры индуктора плавильной печи						Расстояние до рабочего места r, м
	$R_{инд}$, м	$l_к$, м	ω	I, A	f, кГц	P, кВт	
1	0,1	0,15	20	150	150	30	0,6
2	0,2	0,3	40	200	100	60	1,3
3	0,3	0,4	60	300	60	100	2,0
4	0,2	0,4	50	300	150	70	1,5
5	0,1	0,3	25	250	70	50	0,8
6	0,1	0,2	20	150	200	40	0,8
7	0,2	0,2	25	100	400	30	0,6
8	0,2	0,4	30	250	30	70	1,5
9	0,3	0,3	50	350	350	100	2,0
0	0,2	0,3	45	200	50	60	1,3

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Ознакомиться с методикой расчета напряженности магнитного поля Н от катушки индуктора, нормированием Н по ГОСТ 12.1.006-84.

4.2 Рассчитать экран высокочастотной плавильной печи.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название, цель работы, расчет экрана высокочастотной плавильной печи (формулы должны быть написаны с наименованием всех параметров и единиц измерения); рисунок экрана с полученными размерами, выводы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Какое вредное воздействие оказывает на организм человека электромагнитное поле от индукционных катушек и рабочих конденсаторов, применяемых для нагрева материалов? Какие применяются меры защиты от воздействия ЭМП?

6.2. Как определяются ближняя и дальняя зоны распространения электромагнитного поля? Как рассчитать длину волны электромагнитного излучения при известной частоте колебаний? Как оценивается воздействие в ближней и дальней зоне ЭМП?

6.3. В чем заключается методика расчета экранирующих устройств? Какой порядок расчета?

6.4. Объясните формулу расчета требуемой эффективности экранирования ЭМП высоких частот?

6.5. От каких факторов зависит глубина проникновения ЭМП в экран, на которой напряженность поля уменьшается в 2,7 раза?

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. Учеб. пособие для вузов.- М.: Энергия, 1979.- 408 с.

3. Крылов В.А., Юченкова Т.В. Защита от электромагнитных излучений. М.: Сов. радио, 1972.- 216 с.

4. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов. Под ред. Е.Я. Юдина, С.В.Белова -2-е изд.- М.: Машиностроение, 1983.- 432 с.

5. Полонский Н.Б. Конструирование электромагнитных экранов для РЭА.- М.: Сов. радио, 1979.- 216 с.

"Защита от электромагнитных полей источников радиочастот"

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета параметров электромагнитных полей радиочастот и средств защиты.

Задачи работы: изучить основные характеристики электромагнитных полей радиочастот и их нормирование, выполнить расчет экрана.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Общие сведения об электромагнитных полях. Воздействие ЭМП на человека

Промышленными источниками электромагнитных полей являются высоковольтные линии электропередач, высокочастотные установки для нагрева материалов, радиотехнические и электронные устройства, антенны и др.

Электромагнитное поле (ЭМП) это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Переменное ЭМП представляет собой совокупность магнитного и электрического полей. Электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях, а магнитное - при прохождении тока по этим частям.

Электромагнитное поле обладает энергией и распространяется в виде электромагнитных волн. Скорость распространения колебаний в воздухе v равна скорости света $3 \cdot 10^8$ м/с. Длина волны зависит от частоты

$$\lambda = \frac{\upsilon}{f},$$

где λ - длина волны, м;

υ - скорость распространения колебаний, м/с;

f - частота колебаний, Гц.

Электромагнитные поля промышленной частоты (50 Гц) имеют длину волны $6 \cdot 10^3$ км. Электромагнитные поля радиочастот делятся на три диапазона:

Наименование диапазона	Частота колебаний	Длина волны
Высокие частоты (ВЧ)	60 кГц... 30 МГц	5 км...10 м

Ультравысокие частоты (УВЧ)	30 МГц...300 МГц	10 м... 1 м
Сверхвысокие частоты (СВЧ)	300 МГц...300 ГГц	1 м... 1 мм

Примечание: 1 кГц = 10^3 Гц, 1 МГц = 10^6 Гц, 1 ГГц = 10^9 Гц.

Область распространения электромагнитных волн от источника излучения условно разделяют на три зоны: ближнюю (имеющую радиус менее 1/6 длины волны), промежуточную и дальнюю (расположенную на расстоянии более 1/6 длины волны от источника).

В ближней и промежуточной зонах электромагнитная волна еще на сформирована, поэтому интенсивность ЭМП в этих зонах оценивается раздельно напряженностью электрической Е (В/м) и магнитной Н (А/м) составляющих поля.

В дальней зоне воздействие ЭМП оценивается плотностью потока энергии

$$\vec{\Pi} = \vec{E} \cdot \vec{H},$$

где П - плотность потока энергии, Вт/м^2;

Е - напряженность электрической составляющей ЭМП, В/м;

Н - напряженность магнитной составляющей ЭМП, А/м.

Персонал, обслуживающий высоковольтные электроэнергетические установки, находятся в ближней зоне ($l < 1/6\lambda$) и подвергается воздействию электромагнитных полей, причем основное воздействие оказывает электрическая составляющая поля.

Воздействие ЭМП на человека состоит в следующем: в электрическом поле атомы и молекулы, из которых состоит тело человека, поляризуются. Полярные молекулы ориентируются по направлению распространения ЭМП, появляются ионные токи.

Длительное воздействие ЭМП низкой частоты небольшой интенсивности приводит к различным нервным и сердечно-сосудистым расстройствам (головной боли, утомляемости, нарушению сна, боли в области сердца и т.п.).

С увеличением напряженности электромагнитного поля, продолжительности облучения и частоты колебаний воздействие на человека возрастает. При воздействии ЭМП частотой выше 60 кГц наступает нагрев тканей. Облучение особенно вредно для глаз, мозга, половых органов. Облучение глаз вызывает помутнение хрусталика (катаракту). При плотности потока энергии выше 100 Вт/м^2 организм не справляется с отводом образующейся теплоты и температура тела повышается. Это может привести к тепловому удару (головной боли, рвоте, обмороку).

При текущем санитарном контроле (не реже одного раза в год), а также в случае приемки источников ЭМП или изменения их конструкции и режимов работы, производится измерение параметров электромагнитного поля на рабочих местах. Измеренные значения сравниваются с нормативными по ГОСТ 12.1.002-84 /1/ или ГОСТ 12.1.006-84 [2] и если они не соответствуют, то

применяются меры защиты.

2.2 Характеристики источников электромагнитных полей радиочастот

Источниками ЭМП высоких частот (ВЧ), ультравысоких частот (УВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ) являются радиотехнические и электронные устройства, применяемые для радиосвязи, радиолокации и радиотелеметрии (генераторы высоких и сверхвысоких частот, открытые концы волноводов, антенны).

Рабочие места по обслуживанию источников ВЧ и УВЧ-колебаний обычно находятся в ближней зоне и воздействие оказывают как электрическая, так и магнитная составляющие поля.

Рабочие места по обслуживанию СВЧ-аппаратуры практически находятся в дальней зоне. В этой зоне воздействия ЭМП оценивается плотностью потока энергии.

Обычно электромагнитное поле от источника распределяется во все стороны равномерно. В этом случае плотность потока энергии рассчитывается по формуле:

$$\Pi = \frac{P_{инд}}{4\pi \cdot r^2}, \qquad (1)$$

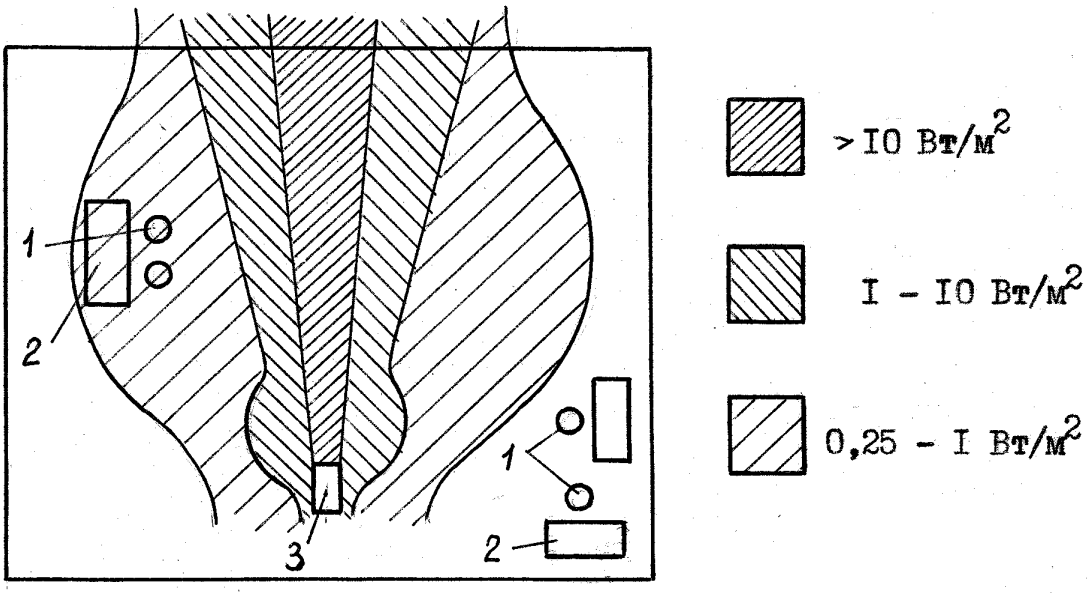
где П - плотность потока энергии ЭМП, Вт/м^2;
$P_и$ - мощность излучения от источника, Вт;
r - расстояние до источника излучения, м.

Если излучение имеет направленный характер, тогда формула принимает вид

$$\Pi = \frac{P_{инд} к_Н}{4\pi \cdot r^2}, \qquad (2)$$

где $к_н$ - коэффициент направленности излучения.

Наиболее опасны антенны радиолокационных станций (РЛС), так как они обладают высоким коэффициентом концентрации энергии в определенном направлении (коэффициентом усиления антенны), достигающим десятков тысяч единиц. Однако и в других направлениях их излучение может достигать нескольких Вт/м^2 (рисунок 1).



1 - рабочее место; 2 - стол (стенд); 3 – РЛС

Рисунок 1 – Зоны излучения РЛС в помещении

2.3. Нормирование воздействия ЭМП высокой, ультравысокой и сверхвысокой частот

По ГОСТ 12.1.006-84 [1] в диапазоне частот от 60 кГц до 300 МГц (ВЧ и УВЧ) нормируется напряженность электрической и магнитной составляющих ЭМП, а также энергетическая нагрузка на человека Предельные значения $Е_{пд}$, $Н_{пд}$, $Э_{Епд}$ и $Э_{Нпд}$ приведены в таблице 1.

$$Э_Е = Е^2 \cdot Т, \quad (3)$$

$$Э_Н = Н^2 \cdot Т, \quad (4)$$

где $Э_Е$ - энергетическая нагрузка, создаваемая электрическим полем, $(В/м)^2 \cdot ч$;

$Э_Н$ - энергетическая нагрузка, создаваемая магнитным полем, $(А/м)^2 \cdot ч$;

Т - время воздействия на человека, ч.

Предельно допустимое значение Е и Н в диапазоне частот 60кГц...300 МГц на рабочих местах персонала следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$Е_{ПД} = \sqrt{\frac{Э_{Е_{ПД}}}{Т}}, \quad (5)$$

$$Н_{ПД} = \sqrt{\frac{Э_{Н_{ПД}}}{Т}}, \qquad (6)$$

где $Е_{пд}$ и $Н_{пд}$ - предельно допустимые значения напряженности электрического, В/м, и магнитного, А/м, полей;

$Э_{Епд}$ и $Э_{Нпд}$ - предельно допустимые значения энергетической нагрузки в течение рабочего дня $(В/м)^2 \cdot ч$ и $(А/м)^2 \cdot ч$.

Таблица 1- Значения $Е_{пд}$, $Н_{пд}$, $Э_{Епд}$ и $Э_{Епд}$

Параметр	Предельные значения в диапазоне, МГц		
	от 0,06 до 3	св. 3 до 30	св.30 до 300
$Е_{пд}$, В/м	500	300	80
$Н_{пд}$, А/м	50	-	-
$Э_{Епд}$, $(В/м)^2 \cdot ч$	20000	7000	800
$Э_{Нпд}$, $(А/м)^2 \cdot ч$	200	-	-

Одновременное воздействие электрических и магнитных полей в диапазоне частот от 0,06 до 3 МГц следует считать допустимой при условии

$$\frac{Э_Е}{Э_{Е_{ПД}}} + \frac{Э_Н}{Э_{Н_{ПД}}} \le 1. \qquad (7)$$

2.3.1. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц измеренное значение напряженности электрического поля Е = 50 В/м, время воздействия 8 ч. Энергетическая нагрузка

$$Э_Е = Е^2 \cdot Т = 50^2 \cdot 8 = 20\,000\ (В/м)^2 \cdot ч,$$

т.е. при Е = 50 В/м допускается в течение рабочего дня нахождение людей без средств защиты.

2.3.2. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность магнитного поля Н = 50 А/м. Возможное время нахождения людей в этой зоне без средств защиты

$$Т = \frac{Э_{Н_{ПД}}}{Н^2} = \frac{200}{50^2} = 0{,}08ч = 4{,}8мин$$

т.е. время меньше 5 мин. Поэтому $Н_{пд}$ = 50 А/м, и если Н будет выше $Н_{пд}$, то запрещается даже кратковременное пребывание людей в этой зоне без средств защиты.

2.3.3. Пример. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность электрической составляющей поля Е = 50 В/м и напряженность магнитной составляющей поля Н = 5 А/м. Энергетическая нагрузка при времени работы 4 ч:

$$Э_Е = 50^2 \cdot 4 = 10\,000\ (В/м)^2 \cdot ч,$$

$$Э_Н = 5^2 \cdot 4 = 100\ (А/м)^2 \cdot ч,$$

условие

$$\frac{Э_Е}{Э_{Е_{ПД}}} + \frac{Э_Н}{Э_{Н_{ПД}}} = \frac{10000}{20000} + \frac{100}{200} = 1,$$

т.е. допускается работа в течение 4 ч без средств защиты.

В диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц (СВЧ) по ГОСТ 12.1.006-84 [2] нормируется плотность потока энергии $П_{пд}$ и энергетическая нагрузка на человека за рабочий день $Э_{пд}$.

Значение плотности потока энергии не должна превышать 10 Вт/м^2, даже при кратковременном нахождении людей в этой зоне, т.е. при П больше 10 Вт/м^2 нахождение людей без средств защиты запрещается.

Если плотность потока энергии П менее 10 Вт/м^2 можно рассчитать допустимое время нахождения людей в этой зоне (или, при известном времени, рассчитать предельно допустимое значение плотности потока энергии):

$$Т_{ПД} = \frac{Э_{ПД}}{П} \text{ при } П \le 10\ Вт/м^2, \qquad (8)$$

$$П_{ПД} = \frac{Э_{ПД}}{Т} \text{ при } П_{ПД} \le 10\ Вт/м^2, \qquad (9)$$

где $Т_{пд}$ - предельно допустимое время пребывания людей в зоне электромагнитного поля, ч;

$Э_{пд}$ - нормативная величина энергетической нагрузки за рабочий день, Вт · ч/м^2;

П - значение плотности потока энергии в зоне нахождения людей, Вт/м^2;

$П_{пд}$ - предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/м^2;

Т - время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Энергетическая нагрузка Э представляет собой суммарный поток энергии П , проходящий через единицу облучаемой поверхности за время действия Т , и выражается произведением

$$Э = П \cdot Т. \qquad (10)$$

Нормативная величина энергетической нагрузки за рабочий день принимается равной:

$Э_{пд}$ = 2 Вт · ч/м^2 - для всех случаев облучения, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;

$Э_{пд}$ = 20 Вт · ч/м^2 - для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скваженностью не менее 50.

2.3.4. Пример. Источником ЭМП частотой 100 ГГц является антенна, вращающаяся с периодом 5 об/мин. На рабочем месте оператора плотность потока энергии составляет 4 Вт/м^2. Определить допустимое время нахождения оператора на рабочем месте в смену.

Решение.

Допустимая энергетическая нагрузка на человека в день по ГОСТ 12.1.006-84 составляет 20 Вт · ч/м^2 . По формуле (8)

$$Т_{ПД} = \frac{Э_{ПД}}{П} = \frac{20}{4} = 5 \text{ ч.}$$

т.е. допустимое время $Т_{пд}$ не более 5 ч.

2.3.5. Пример. Рассчитать предельно допустимое значение плотности потока энергии на рабочем месте оператора СВЧ-установки.
Время работы оператора 8 ч.

Решение.

Принимаем по ГОСТ 12.1.006-84 нормативную величину энергетической нагрузки $Э_{пд}$ = 2 Вт · ч/м^2 .

По формуле (9)

$$П_{ПД} = \frac{Э_{ПД}}{Т} = \frac{2}{8} = 0{,}25 \text{ Вт/м}^2.$$

Проверяем $П_{пд}$ = 0,25 Вт/м^2 < 10 Вт/м^2.

Таким образом предельно допустимое значение $П_{пд}$ равно 0,25 Вт/м^2.

Из примера 2.3.5 видно, что для наихудших условий и работе в течение всего рабочего дня предельно допустимое значение плотности потока энергии

от источника СВЧ составляет 0,25 Вт/м^2.

2.4 Защита от воздействия ЭМП радиочастот

Для уменьшения воздействия ЭМП радиочастот применяются следующие меры:

- уменьшение напряженности и плотности потока энергии ЭМП путем согласования нагрузок и поглотителей мощности;
- экранирование рабочих мест;
- удаление рабочего места от источника ЭМП (дистанционное управление);
- рациональное размещение в рабочем помещении оборудования, излучающего электромагнитную энергию;
- установление рациональных режимов работы оборудования и обслуживающего персонала;
- применение предупреждающей сигнализации (световой, звуковой);
- применение индивидуальных средств защиты.

Наибольшая эффективность защиты от ЭМП может быть достигнута локализацией электромагнитного поля радиотехнического устройства с помощью корпуса, а также применением экрана.

Экраны изготовляются из стали или алюминия. Глубина проникновения ЭМП в экран мала, поэтому любой экран из соображения прочности изготовляют толщиной не менее 0,5 мм. Листы экрана должны быть надежно соединены между собой, обеспечивая электрический контакт. Шов выполняется сваркой, пайкой или точечной сваркой с шагом не более 50 - 100 мм. Экраны должны быть заземлены.

Очень часто в экранирующих устройствах необходимо предусмотреть окна и вентиляционные отверстия. Для того, чтобы не было излучений, отверстия выполняются обычно в виде патрубка с сетками на обоих концах (рисунок 2, а), в виде отдельных отрезков труб (рисунок 2, б) или в виде сотовых конструкций (рисунок 2, в). Патрубки и отрезки труб (рисунок 2, б) выполняют роль запредельных волноводов, т.е. волноводов в которых поперечные размеры меньше размеров, соответствующих критическим длинам волн. В таких волноводах происходит быстрое ослабление излучения.

Если высокочастотные установки размещаются в общем производственном корпусе, то их необходимо устанавливать в угловых специально выделенных помещениях. При мощности до 30 кВт установка должна размещаться на площади не менее 25 м^2, а выше 30 кВт - более 40 м^2. Помещение должно быть оборудовано общеобменной вентиляцией. Воздуховоды, во избежание высокочастотного нагрева, выполняются из асбоцемента, текстолита, гетинакса. Излучение от установки не должно проникать через стены, перекрытия, оконные рамы и двери.

Аналогичным образом должны быть защищены люди, находящиеся в здании, от внешнего излучения (от антенн радиовещания, телевидения, радиолокации).

При решении вопросов защиты от ЭМП необходимо рассчитать радиус опасной зоны по формулам (1) или (2), приняв значение плотности потока энергии П равным предельно допустимому значению.

Если здания попадают в опасную зону, то необходимо учитывать, что элементы здания снижают воздействие ЭМП на 5...20 дБ (таблица 2).

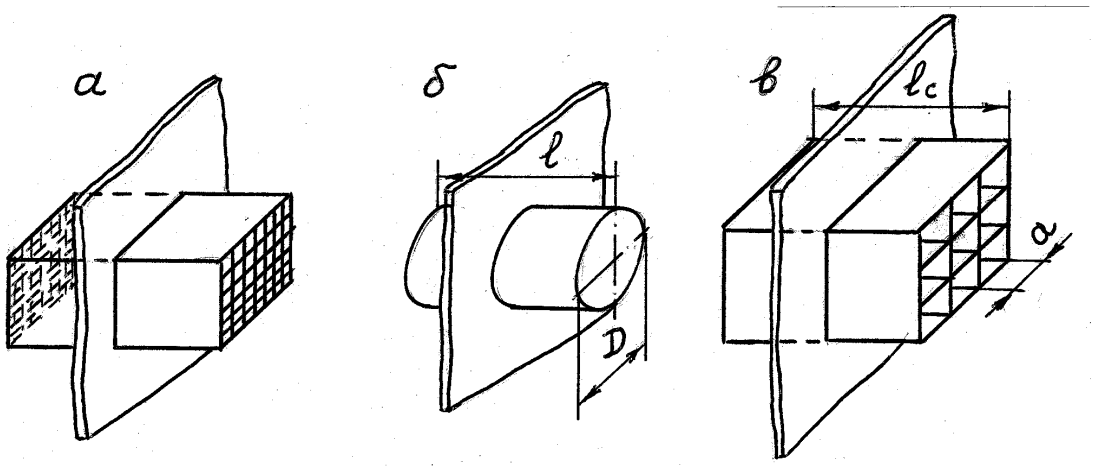
Лесонасождения, расположенные в непосредственной близости от источников излучения, ослабляют ЭМП на 3...10 дБ.

Если ослабление ЭМП строительными конструкциями не достаточно, то в помещении должны быть экранированы стены, потолок, оконные и дверные проемы, вентиляционная система. Монтаж экранов производится прикреплением стальных или дюралевых листов к поверхностям помещения. Отверстия в экранах должны быть выполнены по принципу запредельного волновода.

Также могут быть использованы экранированные кабины, собираемые из стальных щитов.

Для исключения отражения электромагнитных волн применяются радиопоглощающие материалы в виде тонких резиновых ковриков, листов перлона или древесины, пропитанной соответствующим составом. Их склеивают или присоединяют к основе конструкции экрана специальными скребками.

В тех случаях, когда перечисленные выше методы защиты от ВЧ, УВЧ и СВЧ излучений не дают достаточного эффекта (например, при настройке устройств), необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты. Если излучение имеет интенсивность более 10 Вт/м^2, то необходимо использовать очки даже при кратковременных работах. Очки типа ОРЗ-5 изготовляются из стекла, покрытого слоем полупроводникового оксида олова. В диапазоне СВЧ они ослабляют мощность излучения в 1000 раз.



а - патрубок с сетками; б - отрезок трубы; в - сотовая конструкция

Рисунок 3.2 – Конструкции вентиляционных и смотровых отверстий и экранов

Таблица 3.1 – Ослабление электромагнитных излучений СВЧ строительными конструкциями

Материал и элементы конструкции	Ослабление потока энергии	
	$\lambda = 3$ см	$\lambda = 10$ см
Кирпичная стена толщиной 70 см	21	16
Междуэтажное перекрытие	22	20
Оштукатуренная стена здания	12	8
Окна с двойными рамами	13	7

2.5 Методика расчета экранов

Методика расчета экранирующего устройства от воздействия ЭМП заключается в оценке эффективности применения материалов и конструкций.

Исходными данными расчета являются геометрические размеры экрана и технологических проемов, электрические и магнитные характеристики материалов экрана, длина волны излучения, напряженность поля в рабочей зоне и длительность пребывания в ЭМП.

Порядок расчета следующий.

2.5.1. Определяется в какой зоне (ближней или дальней) находится расчетная точка (рабочее место) от источника ЭМП и какими параметрами оценивается интенсивность электромагнитного поля (таблица 3.2).

Таблица 2 – Зоны воздействия ЭМП

Ближняя зона $r << \lambda/2\pi$	Промежуточная зона	Дальняя зона $r >> \lambda/2\pi$
Воздействие ЭМП оценивается напряженностью электрической составляющей поля Е, В/м, или напряженностью магнитной составляющей поля Н, А/м		Воздействие ЭМП оценивается плотностью потока энергии П, Вт/м^2

Рабочие места по обслуживанию источников ВЧ и УВЧ колебаний обычно находятся в ближней зоне, а рабочие места по обслуживанию СВЧ-аппаратуры практически находятся в дальней зоне.

2.5.2. По ГОСТ 12.1.006-84 определяются предельно допустимые уровни напряженности $Е_{пд}$ или $Н_{пд}$ (см. таблицу 1) или предельно допустимый уровень плотности потока энергии $П_{пд}$ (см. формулу 3.9).

2.5.3. Рассчитывается радиус опасной зоны по одной из формул.

Если расчетная точка (рабочее место) находится вне опасной зоны, то защитных мероприятий не требуется. Если же рабочее место находится в опасной зоне, то следует либо уменьшить время пребывания в этой зоне, либо установить защитный экран. Методика расчета экрана приведена ниже.

2.5.4. Рассчитывается напряженность Е или Н электромагнитного поля, или плотность потока энергии по одной из формул.

2.5.5. Определяется требуемая эффективность экрана

$$Э_{тр} = \frac{Е}{Е_{ПД}}, \qquad (11)$$

$$Э_{тр} = \frac{Н}{Н_{ПД}} \qquad (12)$$

или

$$Э_{тр} = \frac{П}{П_{ПД}}, \qquad (13)$$

где $Э_{тр}$ - требуемая эффективность экранирования, показывающая во сколько раз необходимо снизить воздействие ЭМП;

Е, Н, П - соответственно электрическая и магнитная составляющие поля и плотность потока энергии в точке пространства, в которой возможно нахождение людей;

$Е_{пд}$, $Н_{пд}$, $П_{пд}$ - предельно допустимые уровни соответственно электрической и магнитной составляющих поля и плотности потока энергии.

В связи с тем, что эффективность экранирования может изменяться в очень больших пределах (от единиц до 10^{10}), то на практике обычно эффективность экранирования представляют в логарифмических единицах - децибелах (дБ):

$$L_E = 20 \lg \frac{E}{E_{ПД}}, \qquad (14)$$

$$L_H = 20 \lg \frac{H}{H_{ПД}}, \qquad (15)$$

$$L_П = 20 \lg \frac{П}{П_{ПД}}. \qquad (16)$$

2.5.6. Рассчитывается эффективность проектируемого экрана $Э_{экр}$. Расчет проводится по формулам в зависимости от зоны действия ЭМП (ближняя $r<\lambda/2\pi$ или дальняя $r >> \lambda/2\pi$) и вида экрана (металлический сплошной, сетчатый и т.д.). Формулы приведены в разделе 2.6.

Если в экране имеются отверстия или смотровые окна закрытые сеткой, стеклом с токопроводящей поверхностью или выполненных в виде сотовой решетки, то общая эффективность экранирования определяется по этому наиболее опасному участку. Рекомендации по определению максимальных размеров отверстий, патрубков, сотовых решеток и т.п. приведены в разделе 2.7.

Толщина экрана обычно принимается из условия прочности и вида сварки от 0,8 до 2 мм. При использовании сетчатых экранов или экранов из электрических тонких материалов необходимо проверять, чтобы эквивалентная толщина сетки $d_э$ или толщина металлического слоя d была больше в π раз значения глубины проникновения электромагнитного поля, т.е.

$d > \pi \delta$.

2.5.7. Проверяется условие

$$Э_{экр} \geq Э_{тр}, \qquad (17)$$

т.е. что экранирующее устройство обеспечивает ослабление электромагнитного поля до допустимого значения.

2.6 Формулы расчета эффективности экранов

(сплошных, с перфорацией, сетчатых, из тонких материалов, из токопроводящей краски)

2.6.1. Эффективность металлического сплошного экрана рассчитывается по формуле из книги [5, с. 139]:

$$Э_{экр} = (\delta \cdot Z/\rho)^{1/2} \cdot (\lambda/R_э)^{1/3} \cdot (1 - \pi \cdot m/\lambda)^6 . \exp(2\pi \cdot d/m), \qquad (18)$$

где $Э_{экр}$ - эффективность экранирования (по электрической составляющей ЭМП, магнитной составляющей ЭМП, или по плотности потока энергии);

δ - глубина проникновения (расстояние, на котором напряженность поля уменьшается в e = 2,73 раза), м;

Z - волновое сопротивление электромагнитного поля, Ом;

ρ - удельное сопротивление материала экрана, Ом · м;

λ - длина волны ЭМП, м;

$R_э$ - эквивалентный радиус экрана, м;

d - толщина металлического листа экрана, м;

m - наибольший размер технологических отверстий (щелей), м.

Глубина проникновения δ вычисляется по формуле (19), где параметры ρ и μ принимаются по таблице 4.

$$\delta = 0{,}52\sqrt{\frac{\rho}{\mu f_M}} = 0{,}03\sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho}{\mu}}, \qquad (19)$$

где μ - относительная магнитная проницаемость материала экрана (таблица 2.2);

$f_м$ - частота колебаний электромагнитного излучения, МГц;

λ - длина волны ЭМП, м.

Таблица 4 – Характеристики материалов экранов

Материал	Удельное сопротивление ρ, Ом · м	Относительная магнитная проницаемость
Алюминий	$0{,}28 \cdot 10^{-7}$	1
Медь	$0{,}17 \cdot 10^{-7}$	1
Сталь	$1{,}5 \cdot 10^{-7}$	150

Волновое сопротивление Z имеет различное значение для электрической и магнитной составляющих поля, поэтому в формуле (18) при определении эффективности экрана по электрической составляющей нужно подставлять волновое сопротивление $Z = Z_E$, по магнитной составляющей $Z=Z_H$, по плотности потока энергии $Z = Z_0$.

Волновое сопротивление Z_E определяется выражением

$$Z_E = \frac{Z_0 \lambda}{2\pi R_э} \text{ при } \frac{2\pi R_э}{\lambda} << 1, \qquad (20)$$

в остальных случаях Z_E = 377 Ом,

где Z_0 - волновое сопротивление воздуха, Z_0 = 377 Ом.

Волновое сопротивление Z_H определяется выражением

$$Z_H = \frac{2\pi R_э}{\lambda} Z_0. \qquad (21)$$

Для экрана прямоугольной формы

$$R_э = 0{,}62\ (V_{экр})^{1/3}, \qquad (22)$$

где $V_{экр}$ - внутренний объем экрана, м^3.

2.6.2. Эффективность металлического экрана с перфорацией (отверстиями) рассчитывается по формуле из книги [5, с. 139]:

$$Э_{экр.п} = (\delta Z/\rho)^{1/2} \cdot (\lambda/R_э)^{1/3} \cdot (1 - D/\alpha_ц)^2 \cdot (1 - \pi m/\lambda)^6 \cdot \exp(2\pi d/m), \qquad (23)$$

где $\alpha_ц$ - расстояние между центрами отверстий перфорации или щелей в экране, м;

D - диаметр отверстий перфорации, м;

Формула (23) применима для широкого диапазона волн пока $\lambda > m\pi$. При $\lambda \to m\pi$ множитель $(1 - \pi m/\lambda)^6$ резко уменьшается и эффективность экрана становится незначительной.

2.6.3. Эффективность сетчатых экранов вычисляется по формуле

$$Э_{экр.с} = \left(d_э \cdot \frac{Z_0}{\rho}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\lambda}{R_э}\right)^{1/3} \cdot \left(1 - \pi \frac{m}{\lambda}\right)^6 \cdot \exp\left(\frac{\pi \cdot d_s}{S - d_s}\right), \qquad (24)$$

где $d_э$ - эквивалентная толщина сетки, м,

$$d_э = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4S}, \qquad (25)$$

где d_s - диаметр провода сетки, м;

S - шаг сетки, м.

Для обеспечения эффективности сетчатого экрана его эквивалентная толщина $d_э$ должна быть не менее, чем в π раз больше глубины проникновения электромагнитного поля δ, то есть

$$d_э > \pi\,\delta.$$

2.6.4. Эффективность экранов, изготовленных из электрически тонких материалов, в том числе с металлизированными поверхностями, определяется выражением [5, с. 140]:

$$Э_{экр.т} = 1{,}25\pi \cdot (d \cdot Z/\rho)^{1/2} \cdot (\lambda / R_э)^{1/3} \cdot (1 - \pi\, m/\lambda)^6. \qquad (26)$$

За толщину экрана d принимается толщина нанесенного слоя металла. Для обеспечения эффективности экрана толщина должна быть больше 3δ.

2.6.5. Эффективность экранирования токопроводящей краской, нанесенной на экраны, кабины и т.п. изготовленных из диэлектрических материалов (дерева, пластмассы), вычисляется по формуле из книги [5, с. 140]:

$$Э_{экр.кр} = 1{,}25\pi (Z/R_0)^{1/2} \cdot (\lambda/R_э)^{1/3} \cdot (1 - \pi\, m/\lambda)^6, \qquad (27)$$

где R_0 - поверхностное сопротивление краски, Ом.

Для лака 9-32 и 300%-ного карандашного графита марки КГБ, поверхностное сопротивление примерно равно 7-7,5 Ом при толщине покрытия 0,15-0,17 мм и 5-6 Ом - при толщине покрытия 0,20-0,21 мм.

2.7. Расчет размеров соединений, технологических отверстий, патрубков, сотовых решеток

2.7.1. Для обеспечения электрической герметичности листы (полотна) экрана должны быть соответствующим образом соединены: внахлест (с перекрытием), встык или двойным фланцем [5, с. 95].

Сварка непрерывным швом может быть заменена точечной сваркой или креплением листов винтами. При этом среднее число n контактных точек на 1 м длины контакта определяется формулой

$$n = 10{,}6\,(L_{тр}/\lambda)^{0{,}25}, \qquad (28)$$

где $L_{тр}$ - требуемая эффективность экранирования, дБ.

Для обеспечения снижения воздействия ЭМП на 40 дБ при длине волны менее 5 м следует отказаться от точечных контактов и прибегать к использованию сплошных соединений элементов конструкции экрана.

2.7.2. Вентиляционные и коммутационные отверстия в экране не должны снижать эффективность экрана. Эти отверстия должны быть выполнены по принципу запредельного волновода.

Минимальное затухание, вносимое отверстием как фильтром, может быть рассчитано по формуле из книги [5, с. 106].

Для прямоугольного отверстия

$$B_{мин} = \frac{27{,}3}{\alpha}\sqrt{1-\left(\frac{2\alpha}{\lambda}\right)^2}, \qquad (29)$$

где $B_{мин}$ - минимальное затухание, вносимое волноводом как фильтром, (т.е. снижение электромагнитных колебаний) на 1 м длины, дБ/м;

α - минимальный размер отверстия, м;

λ - длина волны ЭМП, м.

Для круглого отверстия (см. рисунок 2, б) следует принимать

$$\alpha = 0{,}853\ D,$$

где D - диаметр отверстия, м.

3.6.3. В диапазоне сантиметровых волн отверстия в экранах закрываются волноводными фильтрами типа "сотовая решетка" (см. рисунок 2, в). Сотовая конструкция патрубка обладает большей эффективностью, чем эффективность отдельного волновода. Дополнительное ослабление излучения сотовой конструкции $L_{доп}$, дБ, для квадратного или прямоугольного патрубка вычисляется по формуле

$$L_{доп} = 20\ln\sqrt{n_я}, \qquad (30)$$

где $n_я$ - число ячеек в общем сотовом волноводе.

Дополнительное ослабление сотовым патрубком $L_{доп}$ должно вычисляться из заданного ослабления при определении минимальной длины запредельного волновода, поэтому длина сотовой решетки

$$L_с = \frac{L_{тр} - 20\ln\sqrt{n_я}}{B_{мин}}, \qquad (31)$$

где l_c - длина сотовой решетки (рисунок 2, в), м.

2.8. Примеры расчета воздействия ЭМП и эффективности защиты экранов

2.8.1. Пример. Рассчитать эффективность сплошного экрана ЛП-37. Частота тока индуктора 70 кГц. Экран изготовлен из стального листа толщиной 2 мм, имеет размеры 1×1×1,2 м. В экране имеются вентиляционные щели размером 10 мм. Рабочее место находится на расстоянии 0,8 м от индуктора.

Решение.

Уточняем по табл. 3. в какой зоне воздействия ЭМП находится рабочее место. Для этого вычисляем длину волны по формуле

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{70 \cdot 10^3} = 4286 \text{ м.}$$

Расстояние r от индуктора до рабочего места значительно меньше $\lambda/2\pi$, поэтому воздействие электромагнитного поля будет в ближней зоне.

Расчет эффективности экрана будем проводить по формуле (3.13). Так как основное влияние будет оказывать магнитная составляющая поля, то эффективность экрана следует проводить по магнит ному полю

$$Э_{экр.н} = (\delta Z_н / \rho)^{1/2} \cdot (\lambda/R_э)^{1/3} \cdot (1 - \pi m/\lambda)^6 \cdot \exp(2\pi d/m).$$

Глубину проникновения ЭМП вычисляем по формуле (19)

$$\delta = 0{,}52\sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f_M}}$$

Из таблицы 4 принимаем для стального экрана $\rho = 1{,}5 \cdot 10^{-7}$ Ом · м, μ=150.

$$\delta = 0{,}52\sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 10^{-7}}{150 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}} = 0{,}062 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Вычисляем эквивалентный радиус экрана по формуле (22)

$$R_э = 0{,}62\sqrt[3]{V_{экр}} = 0{,}62\sqrt[3]{1\cdot 1\cdot 1{,}2} = 0{,}66 \text{ м.}$$

Волновое сопротивление $Z_н$ вычисляем по формуле (21)

$$Z_Н = \frac{2\pi R_э}{\lambda} Z_0 = \frac{2\pi\cdot 0{,}66}{4286}\cdot 377 = 0{,}365 \text{ Ом.}$$

Подставляя все значения в формулу (18) получим

$$Э_{экр.н} = \sqrt{\frac{0{,}062\cdot 10^{-3}\cdot 0{,}385}{1{,}5\cdot 10^{-7}}}\cdot\sqrt[3]{\frac{4286}{0{,}66}}\cdot\left(1-\frac{\pi\cdot 0{,}01}{4286}\right)\cdot\exp\left(\frac{2\pi\cdot 0{,}002}{0{,}01}\right)^6 = 802$$

В логарифмических единицах эффективность экранирования

$$L_{экр} = 20\cdot \lg Э_{экр.н} = 20\cdot \lg 802 = 58 \text{ дБ.}$$

Таким образом получено, что экран ослабляет магнитную составляющую электромагнитного поля в 802 раза или на 58 дБ.

2.8.2. Пример. Источником излучения является генератор аэродромной радиолокационной станции дециметрового диапазона (0,3... 3,0 ГГц). Мощность генератора составляет 0,6 кВт. Обслуживающий персонал должен находиться на расстоянии 10 м от генератора.

Найти радиус опасной зоны и определить требуемую эффективность экранирования помещения для защиты обслуживающего персонала.

Что выбрать в качестве экрана?

Решение.

Определяем по ГОСТ 12.1.001-84 (см. раздел 2.3 методических указаний) предельно допустимое значение плотности потока энергии в заданном диапазоне частот и по формуле (9) находим

$$П_{пд} = Э_{пд}/T = 2/8 = 0{,}25 \text{ Вт/м}^2.$$

Радиус опасной зоны находим по формуле (1)

$$r_{ОП} = \sqrt{\frac{P}{4\pi\cdot П_{ПД}}} = \sqrt{\frac{600}{4\pi\cdot 0{,}25}} = 13{,}8 \text{ м.}$$

Рассчитываем по формуле (1) плотность потока энергии на расстоянии 10 м от генератора

$$П = \frac{P_И}{4\pi \cdot r^2} = \frac{600}{4\pi \cdot 10^2} = 0.48 \text{ Вт/м}^2$$

Определяем требуемую эффективность экранирования помещения

$$Э_{тр} = П / П_{пд} = 0,48 / 0,25 = 1,92,$$

или в логарифмических единицах

$$L_{тр} = 10 \cdot \lg(П / П_{пд}) = 10 \cdot \lg(0,48 / 0,25) = 2,83 \text{ дБ}.$$

Требуемая эффективность экранирования небольшая (2,83 дБ), поэтому в качестве экрана достаточно оштукатуренной стены.

2.8.3. Пример. Требуется оценить эффективность экранирования корпуса кабины размерами 2×2,5×4 м, собранной из щитов, изготовленных из листовой стали толщиной 1,5 мм. Листы прикреплены к металлическому каркасу болтами с шагом крепления 10 см. Диапазон длин волн $3 \cdot 10^3$...0,3 м. Источник излучения (генератор РЛС) находится внутри кабины.

Решение.

Расчет эффективности экрана проводим по формуле (18)

$$Э_{экр} = (\delta Z_0/\rho)^{1/2} \cdot (\lambda/R_э)^{1/3} \cdot (1 - \pi m/\lambda)^6 \cdot \exp(2\pi d/m)$$

Определяем значение параметров, входящих в эту формулу.

Глубину проникновения ЭМП в экран вычисляем по формуле (19):

$$\delta = 0,03(\lambda\rho/\mu)^{1/2} = 0,03 \cdot (0,3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-7} /150)^{1/2} = 0,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

По таблице 4 для стали $\mu = 150$, $\rho = 1,5 \cdot 10^{-7}$ Ом · м.

Волновое сопротивление воздуха $Z_0 = 377$ Ом.

Эквивалентный радиус экрана определяем по формуле (22)

$$R_э = 0,62 \cdot (V_{экр})^{1/3} = 0,62 \cdot (2 \cdot 2,5 \cdot 4)^{1/3} = 2,28 \text{ м}.$$

Толщина листа экрана d = 0,0015 м, размер щелей m = 0,01 м.

Подставив полученные данные в расчетную формулу (22) получим

$$Э_{экр} = \sqrt{\frac{0{,}52 \cdot 10^{-6} \cdot 377}{1{,}5 \cdot 10^{-7}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0{,}3}{2{,}28}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 0{,}01}{0{,}3}\right)^6 \cdot \exp\left(\frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}0015}{0{,}01}\right) = 22$$

Таким образом получено, что экранирующее устройство обеспечивает ослабление электромагнитного поля в 22 раза (на 26,6 дБ).

3.7.4. Пример. Определить размеры волновода фильтра воздуховода сечением 0,8×0,8 м^2 при экранировании источника ЭМП высокой частоты (27МГц). Эффективность экранирования следует обеспечить 40 дБ.

Решение.

Вначале определяем снижение ЭМП в волноводе сечением 0,8×0,8 мм и длиной 1 м по формуле (29)

$$В_{мин} = \frac{27{,}3}{\alpha}\sqrt{1 - \left(\frac{2\alpha}{\lambda}\right)^2} = \frac{27{,}3}{\alpha}\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 0{,}8}{11{,}1}\right)^2} = 33{,}8 \text{ дБ.}$$

где длину волны вычисляем по формуле

$$\lambda = \frac{\upsilon}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{27 \cdot 10^6} = 11{,}1 \text{ м.}$$

Для получения эффективности экранирования 40 дБ длину волновода следует принимать равной

$$l = 40 / 33{,}8 = 1{,}2 \text{ м,}$$

что не может быть реализовано. Поэтому следует принять фильтр типа "сотовая решетка" (см. рисунок 2, в). Размер ячеек принимаем 0,05×0,05 м. Число ячеек определяется по формуле

$$n_я = \frac{S_ф}{S_я} = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}8}{0{,}05 \cdot 0{,}05} = 256,$$

где $S_ф$ - площадь волноводного фильтра (воздуховода), м^2;
$S_я$ - площадь ячейки, м^2 .

Снижение плотности потока энергии на 1 м длины ячейки составляет

$$B_{мин} = \frac{27,3}{\alpha}\sqrt{1-\left(\frac{2\alpha}{\lambda}\right)^2} = \frac{27,3}{0,05}\sqrt{1-\left(\frac{2\cdot 0,05}{11,1}\right)^2} = 546 \text{ дБ.}$$

Длину волновода "сотовая решетка" определяем по формуле (31):

$$L_c = \frac{L_{тр} - 20\cdot \ln\sqrt{n_я}}{B_{мин}} = \frac{40 - 20\cdot \ln\sqrt{256}}{546} = 0,03 \text{ м.}$$

Таким образом для обеспечения эффективности экранирования 40 дБ необходимо применить волноводный фильтр типа "сотовая решетка" с ячейками 5×5 см и длиной 3 см.

Решить задачу. Источником излучения ЭМП является генератор радиолокационной станции. Мощность генератора, частота излучения ЭМП, общие размеры экрана и его конструктивных элементов, размеры помещения, время работы персонала даны в таблице 4.4. Генератор установлен в центре помещения. Рабочее место оператора выбрать самостоятельно, где плотность потока ЭМП имеет минимальное значение (см. рисунок 1). Коэффициент направленности излучения принять равным 1.

Необходимо определить радиус опасной зоны, требуемую эффективность экранирования, выбрать материал экрана, толщину листов экрана (или толщину провода сетки), рассчитать эффективность экранирования и сравнить с требуемым значением.

В задаче приняты следующие обозначения:

P - мощность генератора, кВт;
f - частота излучения, ГГц;
$l_э$, $b_э$, $h_э$ - размеры экрана (длина, ширина, высота), м;
m - наибольший размер технологических отверстий (щелей), м;
D - диаметр вентиляционных и технологических отверстий, см;
$l_п$, $b_п$, $h_п$ - размеры помещения (длина, ширина, высота), м;
t - время работы персонала, ч.

Таблица 5 – Исходные данные для задачи

Вариант	Мощность P, кВт	Частота f, ГГц	Размеры экрана $l_э$, $b_э$, $h_э$, м	Разм. щелей m, м	Диам вент D, см	Размеры помещения $l_п$, $b_п$, $h_п$, м	Время работы t, ч
1	1,0	3000	1,0×0,4×0,3	1,5	2	10 · 8 · 4	4
2	0,4	300	0,8×0,6×0,4	1,0	5	15 · 10 · 5	8
3	1,6	30	0,6×0,4×0,5	2	10	18 · 14 · 6	3
4	0,8	3	0,8×0,4×0,5	5	40	20 · 12 · 6	2
5	1,0	0,3	1,5×1,0×0,8	2	50	24 · 14 · 4	8
6	1,2	0,03	1,2×0,8×0,6	1	80	16 · 12 · 6	6
7	1,4	300	1,2×0,6×0,8	3	60	18 · 10 · 6	3
8	1,6	30	1,5×1,2×1,0	4	50	15 · 10 · 4	2
9	1,8	3	2,0×1,4×0,8	2	40	20 · 12 · 5	6
0	2,0	0,3	2,0×1,2×1,0	1	60	20 · 14 · 5	2

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Изучить методику расчета параметров электромагнитного поля и нормирование.

4.2. Решить задачу по заданному варианту.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название работы, цель работы, решение задачи. Все параметры в формулах должны быть названы и иметь единицы измерения.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 Какое вредное воздействие оказывает на организм человека электромагнитное поле от генераторов радиочастот и антенн? Чему равны предельно допустимые значения электрической составляющей напряженности ЭМП высокой частоты (60 кГц...3 МГц) и ультравысокой частоты (30 МГц...300 МГц)?

6.2. Какое биологическое действие оказывает ЭМП сверхвысоких частот на организм человека. Для каких органов человека воздействие ЭМП СВЧ наиболее опасно? Чему равно предельно допустимое значение плотности потока энергии СВЧ, выше которого не допускается нахождение людей без средств защиты?

6.3. На какие диапазоны частот и длин волн делятся источники электромагнитных полей?

6.4. Какая существует зависимость плотности потока энергии в исследуемой точке от мощности источника и расстояния до источника излучения?

6.5. В чем заключаются организационные меры защиты от ЭМП ("защита расстоянием", "защита временем")?

6.6. В каких нормативных документах даны значения допустимых уровней напряженности ЭМП радиочастот?

6.7. Как рассчитать предельно допустимое значение плотности потока энергии при известном времени нахождения людей в зоне действия ЭМП СВЧ?

6.8. Как определяется энергетическая нагрузка на человека при воздействии ЭМП СВЧ? Чему равна нормативная величина энергетической нагрузки за рабочий день по ГОСТ 12.1.006-84 для вращающихся антенн и стационарных установок?

6.9. Какие меры могут быть применены для уменьшения воздействия ЭМП радиочастот? Какие мероприятия необходимо проводить в первую, а какие в последнюю очередь?

6.10. Какие виды экранов применяются для защиты от ЭМП радиочастот?

6.11. Из какого материала изготавливаются защитные экраны от воздействия радиочастот? Как должны быть устроены вентиляционные и смотровые отверстия в экранах?

6.12. Объясните формулу расчета требуемой эффективности

экранирования ЭМП высоких частот?

6.13. Как влияет частота излучения, вид материала экрана и его размеры, а также размеры технологических отверстий на эффективность экранирования?

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. Учеб. пособие для вузов.- М.: Энергия, 1979.- 408 с.

3. Крылов В.А., Юченкова Т.В. Защита от электромагнитных излучений. М.: Сов. радио, 1972.- 216 с.

4. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов. Под ред. Е.Я. Юдина, С.В.Белова -2-е изд.- М.: Машиностроение, 1983.- 432 с.

5. Полонский Н.Б. Конструирование электромагнитных экранов для РЭА.- М.: Сов. радио, 1979.- 216 с.

Проектирование заземляющего устройства

1 ВЫБОР СХЕМЫ И ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Основной причиной поражения людей электрическим током в сетях напряжением до 1000 В является появление напряжения на металлических частях электрооборудования в результате повреждения изоляции и замыкания фазы на корпус. Согласно правил устройства электроустановок (ПУЭ) [1] в качестве защиты должно применяться защитное заземление или зануление (в сети с изолированной нейтралью - защитное заземление, а в сети с глухозаземленной нейтралью - зануление). Как в первом, так и во втором случае применяются заземляющие устройства одинаковой конструкции (рисунок 1). При защитном заземлении заземляющее устройство присоединяется к корпусу электроустановки (рисунок 2). В схеме зануления осуществляется заземление нейтрали трансформатора и повторное заземление нулевого провода, т.е. одно заземляющее устройство присоединяется к нулевой точке силового трансформатора, а другое - к нулевому проводу в непосредственной близости от места расположения электрооборудования (рисунок 3).

По конструкции заземляющие устройства могут быть контурные или выносные (рисунок 1), естественные или искусственные.

Для заземления электроустановок в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители: а) проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением трубопроводов горючих жидкостей и газов; б) обсадные трубы скважин; в) металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящихся в соприкосновении с землей; г) металлические шунты гидротехнических сооружений, водоводы, затворы и т.п.; д) свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле; е) заземлители опор воздушной линии электропередачи; ж) рельсовые пути магистральных не электрифицированных железных дорог и подъездные пути при наличии преднамеренного устройства перемычек между рельсами.

Для искусственных заземлителей следует применять сталь без окраски. Наименьшие размеры стальных заземлителей следующие [1]: диаметр прутковых неоцинкованных заземлителей d не менее 10 мм, оцинкованных d не менее 6 мм; сечение прямоугольных заземлителей S не менее 48 мм^2 , толщина прямоугольных заземлителей и угловой стали b не менее 4 мм. Обычно применяются старые стальные трубы длиной 2,5-3 м, уголковая сталь или прутковая сталь. Заземлители располагаются по наружному контуру здания на расстоянии 1...6 м от фундамента. Для наружных электроустановок (насосных

станций, подъемных кранов, конвейеров и т.п.) заземлители располагаются по контуру этих установок или параллельно им (рисунок 2 и 3). Роется траншея и заземлители забиваются вертикально в землю. По условию промерзания почвы глубина заложения заземлителей должна быть не менее 0,7 м. Заземлители соединяются между собой проводником. В качестве заземляющего проводника применяется полосовая сталь сечением не менее 48 мм^2. Соединение проводников между собой и к заземлителям производится только сваркой.

Заземляющее устройство обеспечивает безопасность только в том случае, если заземлители обладают небольшим сопротивлением растеканию тока. Согласно ПУЭ [1] нормативное значение сопротивления заземляющего устройства $R_{З.У}$ выбирается в зависимости от напряжения сети и мощности трансформатора, питающего сеть (таблица 1).

Расчет параметров заземляющего устройства заключается в том, чтобы общее сопротивление заземляющего устройства растеканию тока было равным или меньше нормативного.

Сопротивление заземляющего устройства $R_{З.У}$ зависит от вида грунта, его влажности, размеров и числа заземлителей. Хорошо проводит ток и долго удерживает влагу глина. Песок плохо проводит ток и практически не удерживает влагу. При влажности грунта 10–20 % песок имеет сопротивление 700 Ом м, суглинок – 100 Ом м, глина – 40 Ом м (таблица 2). При проектировании заземляющего устройства необходимо знать удельное объемное сопротивление грунта ρ в том месте, где будет оно сооружаться. Обычно значение ρ принимается ориентировочно по справочникам в зависимости от вида грунта.

Расчетное значение удельного объемного сопротивления грунта $\rho_{РАСЧ}$ принимают равным произведению измеренного удельного объемного сопротивления на коэффициент сезонности ψ, учитывающего возможное повышение $\rho_{ИЗМ}$ за счет изменения погодных условий (таблица 3).

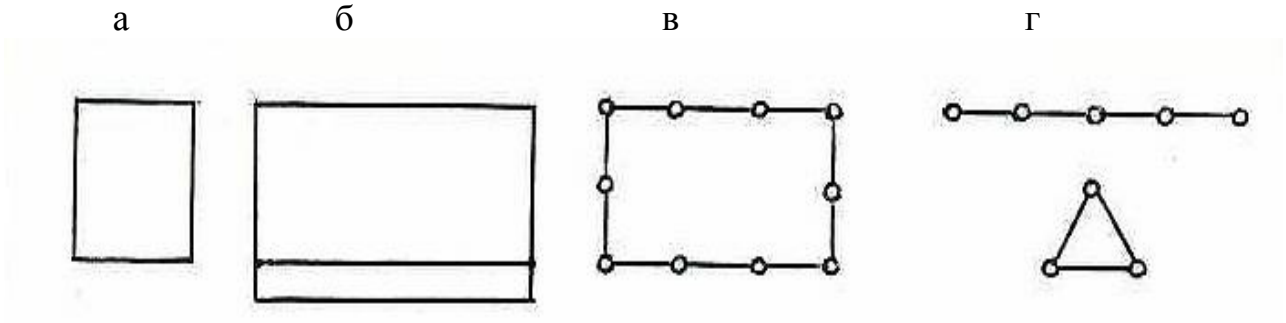
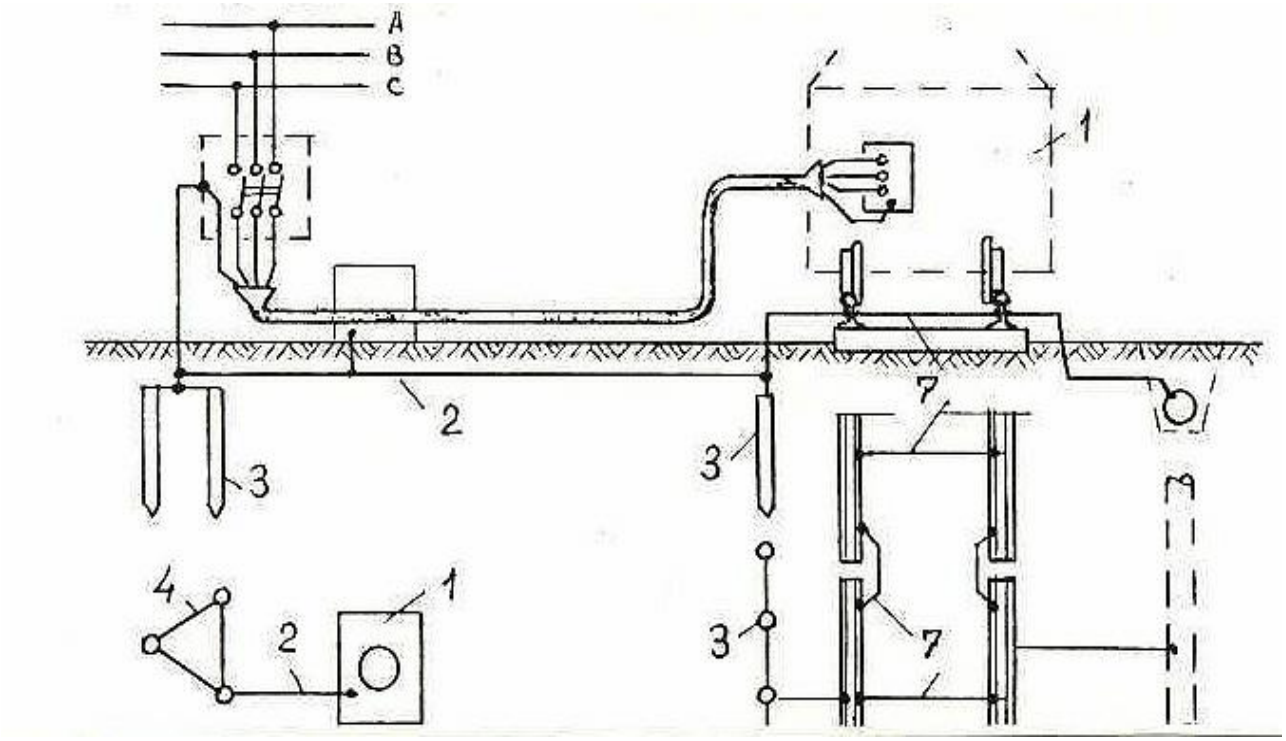
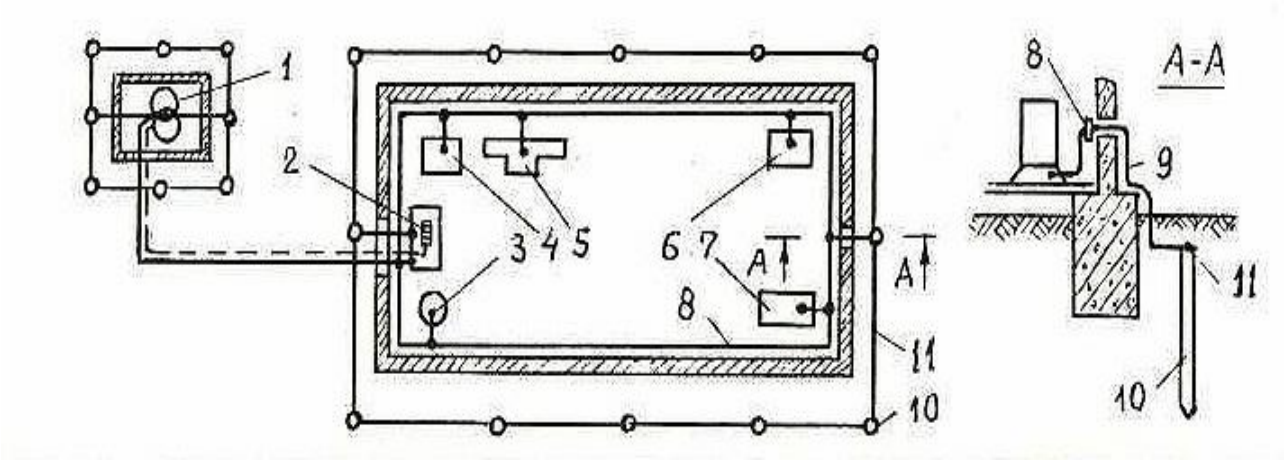


Рисунок 1 - Схемы заземляющих устройств



1 - корпус электроустановки; 2 - заземляющий проводник; 3 - заземлитель; 4 - магистральная полоса, соединяющая заземлители

Рисунок 2 - Схема защитного заземления



1 - трансформатор; 2...7 - электрооборудование; 8 - контур заземления (зануления), расположенный внутри здания; 9 - заземляющий проводник; 10 - заземлители (трубы), вертикально забитые в землю; 11 - полоса, соединяющая заземлители (горизонтальный заземлитель)

Рисунок 3 - Схема заземления нулевой точки трансформатора и повторного заземления нулевого провода

2 МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПАРАМЕТОВ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

2.1. Составляются исходные данные для выбора и расчета заземляющего устройства:

- характеристика электроустановок (виды основного оборудования, рабочее напряжение, мощность трансформатора, питающего сеть, режим нейтрали сети);
- схема размещения электрооборудования в помещении или на участке, размеры помещения;
- данные об имеющихся в наличии материалах для искусственных заземлителей и соединяющих проводников (трубах, уголках, полосовой стали и т.п.), их форме, размерах;
- данные о грунте, где предполагается установка заземлителей, величине удельного электрического сопротивления грунта, климатической зоне, где расположено предприятие.

2.2. Выбирается нормативное значение сопротивления заземления $R_{норм}$ в соответствии с правилами устройства электроустановок (таблица 1).

2.3. Выбираются тип и размеры заземлителей и составляется схема их расположения.

2.4. Уточняется удельное электрическое сопротивление грунта на участке, где будут установлены заземлители.

Если не известно удельное электрическое сопротивление грунта ρ, то принимается приближенное его значение $\rho_{пр}$ (таблица 2).

С учётом сезонных изменений влажности грунта значение $\rho_{пр}$ уточняется:

$$\rho = \rho_{пр}\psi \qquad (1)$$

где ρ - удельное объемное сопротивление грунта растеканию тока, Ом·м;

$\rho_{пр}$ – приближенное значение удельного сопротивления грунта, Ом·м;

ψ - коэффициент сезонности.

Коэффициент сезонности ψ выбирается в зависимости от климатической зоны и типа заземлителя (таблица 3). Обычно принимается среднее значение ρ и ψ , причем различное для труб и уголков, установленных вертикально, $\psi_з$ и соединительной полосы, проложенной горизонтально $\psi_{п.}$

2.5. Рассчитывается сопротивление растеканию тока полосы, соединяющей заземлители, $R_п$ по формуле (таблица 4). Если заземляющее устройство имеет только горизонтально уложенную полосу, сопротивление растеканию тока определяется по формуле:

$$R_Г = \frac{\rho_Г \cdot \psi_Г}{2\pi \cdot L} \ln \frac{2L^2}{b \cdot t}, \qquad (2)$$

где $R_Г$ -сопротивление растеканию тока горизонтально уложенной полосы, Ом;

$\rho_Г$ - удельное сопротивление грунта растеканию тока для полосы, уложенной горизонтально в земле, Ом·м;

$\psi_Г$ - коэффициент сезонности для горизонтальной заземляющей полосы;

L - длина заземляющей полосы, м;

b - ширина полосы, м;

t - глубина заложения полосы, м.

При использовании заземляющего проводника круглого сечения в формуле (2) принимается ширина b равной двум диаметрам проводника.

Удельное сопротивление грунта $\rho_Г$ принимается равным среднему значению из таблицы 2, умноженному на коэффициент сезонности. Если заземляющее устройство располагается в третьей климатической зоне и используются горизонтальные заземлители длиной более 50 м (полосы, прутки, уголки и т.п.), то $\psi_П$ = 1,6...3,2 (таблица 3).

2.6. Проводится сравнение сопротивления растеканию тока полосы $R_п$ и нормативного $R_{норм}$.

Если сопротивление $R_п$ меньше $R_{норм}$, то принимается контурное заземление в виде горизонтально уложенной полосы и вертикальных труб, расположенных только по углам заземляющего устройства (рисунок 1, б). Если сопротивление $R_п$ значительно больше $R_{норм}$, то выполняется по контуру устанавливается большое количество труб или прутков, вертикально заглубленных в землю.

2.7. Определяется сопротивление растеканию тока одиночного искусственного заземлителя. Например, для трубы, заглубленной вертикально в землю, формула имеет вид (таблица 4):

$$R_З = \frac{\rho_З \cdot \psi_З}{2\pi \cdot L_З} \cdot \left(\ln \frac{2L_З}{d_З} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_З + L_З}{4t_З - L_З} \right), \qquad (3)$$

где $R_З$ - сопротивление растеканию тока вертикального заземлителя (трубы, прутка), Ом;

$L_З$ - длина вертикального заземлителя (трубы, прутка), м;

$d_З$ - наружный диаметр заземлителя (трубы, прутка), м;

$t_З$ - глубина заложения заземлителя (трубы, прутка), м,

$$t_З = t_0 + L_З/2,$$

где t_0 - расстояние от поверхности земли до верхнего края заземлителя, м.

Если заземлители располагаются в третьей климатической зоне и используются вертикальные заземлители (трубы или уголки длиной 2-3 м), то коэффициент $\psi_З$ = 1,2...1,5 (таблица 3).

2.8. Уточняется сопротивление контура заземляющей полосы с учетом влияния вертикальных заземлителей

$$R_{п.з} = \frac{R_п}{\eta_п}, \qquad (4)$$

где $R_{п.з}$ – сопротивление растеканию тока соединяющей полосы с учетом влияния заземлителей, Ом.

$\eta_п$ - коэффициент использования полосы, $\eta_п$ принимается из таблицы 5.

2.9. Рассчитывается сопротивление всех вертикально установленных заземлителей (труб, уголков) с учетом их числа и коэффициента использования:

$$R_з = \frac{R_1}{n\eta_з} \qquad (5)$$

где $R_з$ – сопротивление всех вертикально установленных заземлителей, Ом;

R_1 – сопротивление одиночного заземлителя (трубы, уголка), Ом;

n – число заземлителей;

$\eta_З$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей (принимается по таблице 6).

2.10. Рассчитывается общее сопротивление заземляющего устройства $R_{з.у}$, состоящего из полосы и вертикально забитых в землю труб или прутков (рисунок 1 и 3), по формуле:

$$R_{з.у} = \frac{R_{п.з} R_з}{R_{п.з} + R_з}. \qquad (6)$$

Коэффициенты использования $\eta_Г$ и $\eta_З$ учитывают ухудшение условий растекания тока от полосы и вертикальных заземлителей.

2.11. Сравнивается полученное сопротивление $R_{з.у}$ с нормативным $R_{норм}$.

Если сопротивление $R_{З.У}$ будет больше нормативного значения, то требуется спроектировать новое заземляющее устройство, удовлетворяющее требованиям ПУЭ [1].

3. ПРИМЕР. РАСЧЁТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА И ЦЕХОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1. Исходные данные. Электрооборудование цеха получает питание от внутрицеховой подстанции, оборудованной понижающим трансформатором 6/0,4 кВ мощностью 500 кВ·А. Сеть 6 кВ имеет изолированную нейтраль, а на стороне 380 В сеть имеет глухозаземленную нейтраль. . Схема расположения

оборудования в цехе показана на рисунке 3. Полы в цехе бетонные. Длина здания 40 м, ширина 20 м.

Анализ опасности поражения людей электрическим током показывает, что в цехе есть возможность одновременного прикосновения человека к металлическим корпусам электрооборудования, с одной стороны, и к металлическим частям соседних станков или трубам центрального отопления, с другой стороны, кроме этого пол в цехе токопроводящий, поэтому проектируемый цех относится к помещениям особой опасности. В соответствии с ПУЭ должно быть выполнено зануление. При этом должно быть выполнено общее заземляющее устройство, которое соединялось бы с нулевой точкой трансформатора и присоединялось бы к корпусам электрооборудования.

Для устройства искусственных заземлителей имеются трубы длиной 3 м, диаметром 50 см, с толщиной стенки 4 см, а также стальная полоса сечением 4х20 мм.

Грунт на участке – супесок. Величина удельного сопротивления грунта неизвестна. Предприятие расположено в третьей климатической зоне.

3.2. Выбираем нормативное значение сопротивления заземляющего устройства $R_{норм}$. По ПУЭ наибольшее значение сопротивления $R_{норм}$ равно 4 Ом (см. таблицу 1).

3.3. Выбираем тип и размеры заземлителей и составляем схему их расположения.

В качестве искусственных заземлителей принимаем стальные трубы, вертикально заглубленные в землю.

Заземляющее устройство принимаем контурное, расположенное на расстоянии 3,5 м от фундамента и углубленное в землю на 0,8 м (см. рисунок 3). В соответствии с размерами здания длина полосы получается 148 м.

3.4. Уточняем удельное электрическое сопротивление грунта на участке, где будут установлены заземлители. По таблице 2 выбираем приближенное значение $\rho_{пр}$ для супеска 300 Ом·м. По таблице 3 принимаем коэффициент сезонности для вертикально установленных заземлителей $\psi_з$ равным 1,35, а для полосы, соединяющей заземлители, $\psi_п$ равным 2,4.

По формуле (1) вычисляем

$$\rho_Г = 300 \cdot 1.35 = 405 \text{ Ом},$$
$$\rho_З = 300 \cdot 2,4 = 720 \text{ Ом}.$$

3.5. Рассчитываем сопротивление растеканию тока полосы, соединяющей заземлители, $R_п$ по формуле (2):

$$R_п = \frac{720}{2\pi \cdot 148} \ln \frac{2 \cdot 148^2}{0,02 \cdot 0,8} = 11,5 \text{ Ом.}$$

3.6. Сравниваем значения $R_п$ и $R_{норм}$. Сопротивление растеканию тока полосы 11,5 Ом значительно больше нормативного 4 Ом, поэтому продолжаем

расчет контурного заземляющего устройства с вертикально заглубленными трубами.

3.7. Определяем сопротивление растеканию тока одиночного заземлителя (трубы) по формуле (3):

$$R_T = \frac{405}{2\pi \cdot 3}\left(\ln\frac{2\cdot 3}{0{,}05} + \frac{1}{2}\ln\frac{4\cdot 2{,}2+3}{4\cdot 2{,}2-3}\right) = 110{,}5 \text{ Ом.}$$

где $t_T = 0{,}7 + \frac{3}{2} = 2{,}2$ м.

3.8. При минимальном расстоянии между заземлителями 3 м и отношении $a/\ell_T = 1$ число вертикальных заземлителей будет

$L_{конт}$ / 3 = 148 / 3 = 49. Принимаем 48 вертикальных заземлителей.

3.9. С учетом влияния вертикальных заземлителей сопротивление контура полосы уточняем по формуле (4) и таблице 5:

$$R_{п.з} = \frac{11{,}5}{0{,}21} = 54{,}7 \text{ Ом.}$$

3.10. Рассчитываем сопротивление для 48 труб по формуле (5):

$$R_з = \frac{110{,}5}{48\cdot 0{,}4} = 5{,}7 \text{ Ом.}$$

3.11. Вычисляем общее сопротивление заземляющего устройства (рисунок 1, г) по формуле (6):

$$R_{з.у} = \frac{54{,}7\cdot 5{,}7}{54{,}7+5{,}7} = 5{,}16 \text{ Ом.}$$

3.12. Полученное сопротивление заземляющего устройства 5,16 Ом не удовлетворяет требованиям ПУЭ, т.е. превышает 4 Ом. Однако при удельном сопротивлении земли ρ более 100 Ом·м допускается увеличивать нормы, указанные в таблице 1 в $0{,}01\cdot\rho$ раз, т.е. 0,01 · 300 = 3 раза, т.е в нашем случае допустимо $R^*_{норм}$ = 12 Ом.

Заземляющее устройство выполняется следующим образом. По контуру здания на расстоянии 3,5 м от фундамента прокапывается траншея глубиной не менее 0,8 м. В траншеи через 3 м друг от друга забиваются в грунт стальные трубы длиной по 3 м, причем забиваются так, что от дна траншеи остается 10

см вершины трубы. Верхние концы труб свариваются между собой стальной полосой размером 4х20 мм. Заземляющее устройство в двух местах (симметрично здания) с помощью стальной полосы сечением 4х20 мм соединяется с магистральным проводником, проложенным по контуру внутри здания. К внутреннему контуру заземляющего устройства присоединены корпуса распределительных шкафов и электрооборудования.

ПРИМЕЧАНИЕ:

Уменьшить сопротивление заземляющего устройства можно, если в траншею, где уложена полоса, засыпать глину и утрамбовать ее. Удельное сопротивление глины значительно меньше, чем супеска.

Уменьшить сопротивление заземляющего устройства можно, если вместо труб длиной 3 м применить прутки длиной 5 м.

Таблица 1 - Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств в электроустановках

Характеристика установки	Наибольшее допустимое сопротивление заземляющего устройства $R_{НОРМ}$, Ом
1. Электроустановки напряжением до 1000 В сети с изолированной нейтралью а) защитное заземление при мощности	10

генераторов и трансформаторов 100 кВА и менее б) защитное заземление в остальных случаях	4
2. Электроустановки напряжением выше 1000 В сети с изолированной нейтралью а) если заземляющее устройство используется только для электроустановок выше1000 В б) если заземляющее устройство одновременно используется для электроустановок до 1000 В и более 1000 В	 $250/I_З$, но не более 10 где $I_З$ - расчетный ток замыкания на землю, А $125/I_З$, но не более 10 N > 100 кВА, R < 4 Ом
3. Электроустановки напряжением до 1 кВ сети с глухозаземленной нейтралью а) присоединение к нейтрали трансформатора, - если фазное напряжение $U_Ф = 380$ В $U_Ф = 220$ В $U_Ф = 127$ В б) присоединение повторных заземлителей к воздушной линии, - если фазное напряжение $U_Ф = 380$ В $U_Ф = 220$ В $U_Ф = 127$ В	Суммарное ест. и повт. $R_{СУМ}$, Ом 2 4 8 Суммарное 5 10 20 | У транфор-матора $R_{0.ТР}$, Ом 15 30 60 Каждого $R_П$ 15 30 60
4. Электроустановки напряжением выше 1000 В сети с эффективно заземленной нейтралью ($I_З$ = 500 А и более)	0,5

Примечание. При удельном сопротивлении земли ρ более 100 Ом м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01ρ раз, но не более десятикратного.

Таблица 2 - Приближенные (средние) значения удельных электрических сопротивлений различных грунтов $\rho_{пр}$, Ом·м

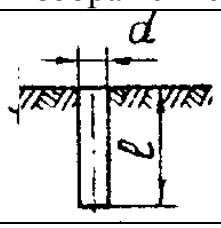
Грунт	Возможные пределы колебаний	При влажности 10 -20% к массе грунта
Песок	400 – 700	700
Супесок	150 – 400	300
Суглинок	40 – 150	100
Глина	8 – 70	40
Торф	10 – 30	20

Чернозем Речная вода Морская вода	9 – 53 5 0,2 – 1	20

Таблица 3 – Коэффициенты сезонности ψ для однородной земли

Характеристика климатической зоны и тип заземлителя	Климатические зоны			
	1	2	3	4
Признаки климатических зон				
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	От –20 До –15	От –14 До –10	От –10 До 0	От 0 До +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	От +16 До +18	От +18 До +22	От +22 До +24	От +24 До +26
Среднее количество осадков, см	40	50	50	30 – 50
Продолжительность замерзания вод, дни	190 – 170	150	100	0
Коэффициенты сезонности, ψ				
Вертикальные заземлители (трубы, уголки и т.д.) длиной 2,5 . . .3 м	От 1,5 До 1,9	От 1,3 До 1,7	От 1,2 До 1,5	От 1,0 До 1,3
Горизонтальные заземлители длиной 10 м (трубы, прутки, полосы и т.д.)	От 4,1 До 9,3	От 2,6 До 5,9	От 2,0 До 4,2	От 1,1 До 2,5
Горизонтальные заземлители длиной 50 м и более	От 3,6 До 7,2	От 2,4 До 4,8	От 1,6 До 3,2	От 1,1 До 2,2

Таблица 4 – Формулы определения сопротивлений току растекания одиночных заземлителей

Заземлитель	Схематическое изображение	Формула
а) Трубчатый или стержневой у поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{2\pi\ell}\ln\frac{4\ell}{d}; \quad \ell >> d$

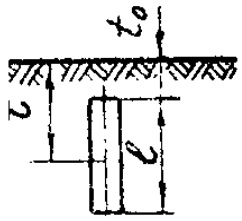
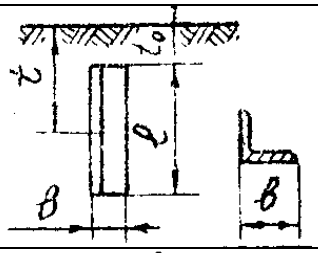
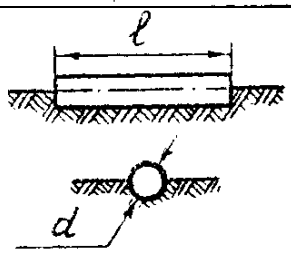
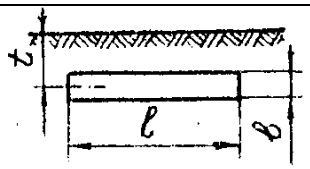
б) Трубчатый или стержневой в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi\ell}\left(\ln\frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t+\ell}{4t-\ell}\right)$ $\ell >> d$, $t_0 \geq 0{,}5м$
в) Уголковый у поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{2\pi\ell}\ln\frac{4{,}2\ell}{в}$; $\ell >> в$
г) Уголковый в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi\ell}\left(\ln\frac{2{,}1\ell}{в} + \frac{1}{2}\ln\frac{4{,}2t+\ell}{4{,}2t-\ell}\right)$; $\ell >> в$, $t_0 \geq 0{,}5м$
д) Протяженный круглого сечения (стержень, труба, оболочка кабеля) у поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi\ell}\ln\frac{2\ell}{d}$; $\ell >> d$
е) Протяженный (полоса) прямоугольного сечения в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi\ell}\ln\frac{2\ell^2}{вt}$; $\ell \geq 5t$, $\ell >> в$

Таблица 5 – Коэффициенты использования $\eta_п$ горизонтального полосового заземляющего проводника, соединяющего вертикальные заземлители (трубы, уголки и т.п.)

Отношение расстояний между заземлителями к их длине	Число вертикальных заземлителей							
	2	4	6	10	20	30	40	100
Вертикальные заземлители размещены по контуру (рисунок 1)								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,24	0,22	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,30	0,29	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,41	0,39	0,33
Вертикальные заземлители размещены в ряд (рисунок 2, в)								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	0,31	-	-
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56	0,46	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	0,58	-	-

Таблица 6 – Коэффициенты использования $\eta_з$ вертикальных заземлителей (труб, уголков и т.п.)

Число заземлителей	Отношение расстояний между заземлителями К их длине *a/l*					
	1	2	3	1	2	3
	Заземлители размещены в ряд			Заземлители размещены по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
80	-	-	-	0,37	0,53	0,63
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок (7-е издание). Главгосэнергонадзор России, 2008 г. – 607 с.

2. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоиздат, 1982. – 799 с.

3.Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергия, 1979. – 407 с.

«Расчет тока короткого замыкания при занулении»

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета тока короткого замыкания в схеме зануления.

Задачи работы: изучить принцип действия зануления и методику расчета тока короткого замыкания.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Расчет зануления состоит из нескольких частей: 1) расчет тока короткого замыкания и проверка отключающей способности предохранителей; 2) проектирование заземления нейтрали силового трансформатора; 3) проектирование повторного заземления нулевого провода.

2.1. Расчет тока короткого замыкания выполняется для наиболее мощного, а также наиболее удаленного потребителя. Методику расчета поясним на примере оборудования сварочного участка (рисунок 1). В цеховой подстанции 12, установлен трансформатор 6/0,4 кВ, мощностью 400 кВА. Сеть 6 кВ имеет изолированную нейтраль, а на стороне 0,4/0,23 кВ нейтраль трансформатора заземлена. Подключение сварочных выпрямителей 2 происходит медным четырехжильным кабелем 3 с сечением жил 16 мм^2. Сварочные выпрямители ВДУ-504 имеют защитные предохранители с номинальным током плавкого элемента 100 А. Участок от распределительного шкафа 6 до цеховой подстанции 12 выполнен алюминиевым шинопроводом ШРА с сечением шин 100 х 8 мм. Нулевой провод представляет собой стальную шину сечением 40 х 6 мм.

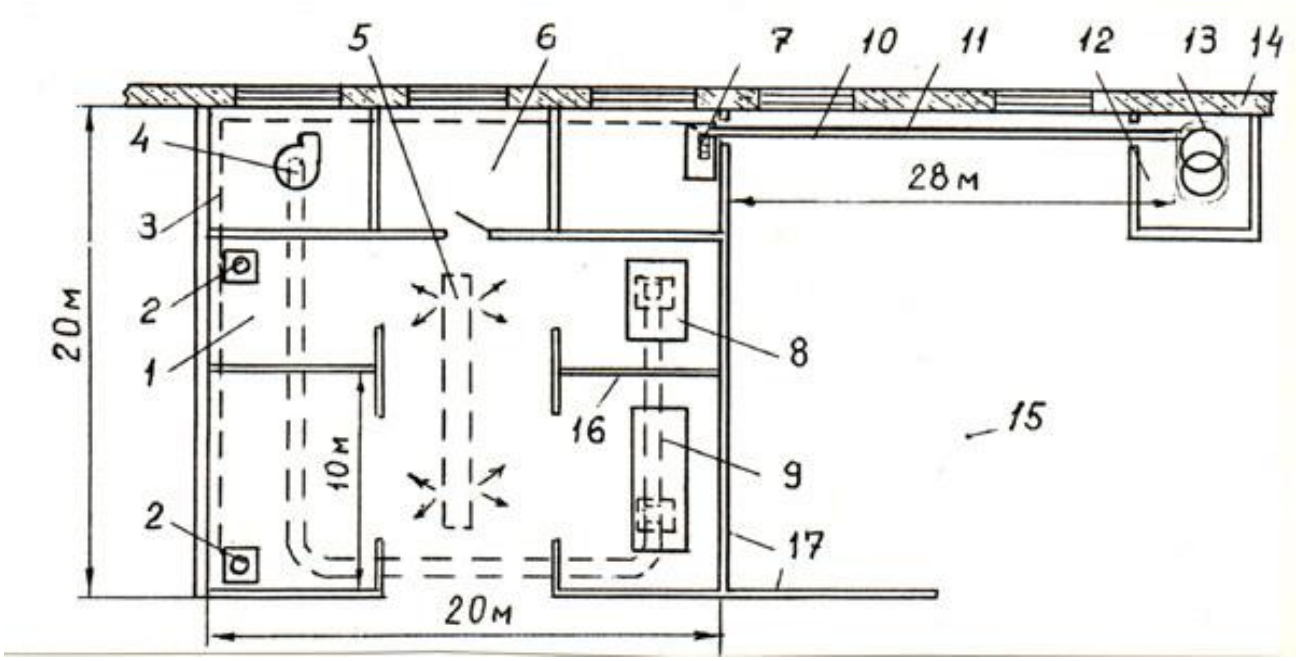


Рисунок 1 - Схема расположения оборудования на сварочном участке:
1 - кабина электросварщиков; 2 - сварочные выпрямители; 3 - кабель;
4 - вентилятор; 5 - воздуховоды для подачи свежего воздуха;
6 - комната отдыха; 7 - распределительный шкаф; 8 - полуавтоматические станки для сварки под слоем флюса; 9 - воздуховоды местного отсоса;
10 - алюминиевый шинопровод; 11 - стальная шина зануления;
12 - цеховая подстанция; 13 - силовой трансформатор 6 / 0,4 кВ;
14 - стена из кирпича; 15 - механический участок; 16 - металлическая перегородка высотой 3 м; 17 - металлическая стена

Целью расчета является определение надежности сгорания предохранителей, то есть ток короткого замыкания $I_{КЗ}$ должен превышать ток плавкой вставки не менее чем в 3 раза.

Ток короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{КЗ} = U_Ф / Z_{Ф-О} = U_Ф / \sqrt{(R_{ТР} + R_Ф + R_О)^2 + (X_{ТР} + X_Ф + X_О)^2}\,, \qquad (1)$$

где $I_{КЗ}$ - ток короткого замыкания, А;

$U_Ф$ - фазное напряжение сети, В;

$Z_{Ф-О}$ - сопротивление петли "фаза - нуль", Ом,

$R_{ТР}, X_{ТР}$ - активное и индуктивное сопротивления обмотки силового трансформатора, Ом;

$R_Ф, X_Ф$ - активное и емкостное сопротивления фазного провода, Ом;

$R_О, X_О$ - активное и емкостное сопротивления нулевого провода, Ом.

Емкостным сопротивлением проводов и активным сопротивлением трансформатора пренебрегаем из-за их малой величины. В справочниках даны

полные сопротивления обмоток трансформаторов Z_{TP}, поэтому принимаем $X_{TP} = Z_{TP}/3$. Для трансформатора мощностью 400 кВА индуктивное сопротивление обмотки X_{TP} = 0,129 / 3 = 0,043 Ом.

Активное сопротивление алюминиевого или медного проводника $R_{ПР}$, Ом, вычисляется по формуле:

$$R_{ПР} = \rho_{ПР} \frac{L_{ПР}}{S_{ПР}}, \qquad (2)$$

где $\rho_{ПР}$ - удельное сопротивление проводника прохождению тока, Ом ·мм^2/м;

$L_{ПР}$ - длина проводника, м;

$S_{ПР}$ - площадь сечения проводника, мм^2.

В нашем случае сопротивление петли "фаза - нуль" состоит из сопротивления алюминиевого фазного шинопровода длиной 28 м - $R_{Ш}$, медного фазного провода длиной 40 м - $R_{Ф}$, медного нулевого провода длиной 40 м - R_{O}, стальной шины длиной 40 м - R_{CT} и индуктивного сопротивления трансформатора - X_{TP} :

$$Z_{Ф-O} = \sqrt{(R_{Ш} + R_{Ф} + R_{O} + R_{CT})^2 + X_{TP}{}^2}, \qquad (3)$$

Сопротивление стального проводника зависит от плотности тока, поэтому в первом приближении принимаем минимальную величину тока равной 3 $I_{ПЛ.ВСТ}$.

В нашем примере плотность тока

$$j = \frac{I_{ПР}}{S_{ПР}} = \frac{3 \cdot 100}{40 \cdot 6} = 1{,}25 A/мм^2, \qquad (4)$$

Для j = 1,25 $A/мм^2$ удельное сопротивление ρ_{CT} = 0,3 $Ом \cdot мм^2/м$ [5].

Сопротивление петли "фаза - нуль" определяется по формуле (16.3)

$$Z_{Ф-O} = \sqrt{(R_{Ш} + R_{Ф} + R_{O} + R_{CT})^2 + X_{TP}{}^2} = 0{,}16 Ом.$$

Ток короткого замыкания $I_{КЗ}$ = 220 /0,16 = 1375 А.

Уточнив плотность тока j = 1375/240 = 5,7 $A/мм^2$, и удельное сопротивление стального проводника ρ_{CT} = 0,6 $Ом \cdot мм^2/м$, получим: сопротивление $Z_{Ф-O}$ = 0,2 Ом и ток $I_{КЗ}$ = 1100 А, то есть ток $I_{КЗ}$ больше тока плавкой вставки предохранителя в 11 раз.

2.2. Проектирование заземления нейтрали трансформатора проводится аналогично проектированию заземляющего устройства (см. лекцию 15), за исключением того, что нормативное значение сопротивления заземляющего

устройства выбирается по ПУЭ [1] в зависимости от напряжения первичной обмотки трансформатора и тока замыкания на землю.

2.3. Проектирование повторного заземления нулевого провода проводится аналогично проектированию заземляющего устройства (см.лекцию 15), но нормативное значение сопротивления заземляющего устройства принимается по ПУЭ [1] в зависимости от места расположния силового трансформатора (в отдельно стоящем домике или в здании цеха), а также напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Если силовой трансформатор мощностью 600 кВА установлен в здании механического цеха, напряжение на вторичной обмотке трансформатора 380 В, то сопротивление заземляющего устройства должно быть не менее 4 Ом, т.е. ($R_{З.О.ПОВТ}$ = 4 Ом).

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 По выданному преподавателем варианту провести расчет тока короткого замыкания в схеме зануления.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить принцип действия зануления и методику расчета тока короткого замыкания.

4.2. Рассчитать ток короткого замыкания для заданной схемы и параметров электрической сети и сделать выводы.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схему электрической сети при занулении, основные параметры сети, расчет тока короткого замыкания, выводы.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Каков принцип защитного действия зануления?

6.2. По какой цепи течет ток при коротком замыкании в схеме зануления?

6.3. Как рассчитывается сопротивление петли «фаза-нуль» с учетом активной и индуктивной составляющих сопротивления сети и трансформатора?

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. – М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. – 607 с.
2. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоиздат, 1982. – 799 с.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергия, 1979. – 407 с.

"Определение размеров опасной зоны оборудования"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет опасной зоны от полета осколков инструментов.

Задачи работы: изучить методику расчета опасной зоны.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При работе станков с вращательным движением инструмента (токарных, фрезерных, шлифовальных и др.) возможны поломки инструмента, заготовок или полеты стружки под действием окружной скорости. Осколки и кусочки стружки могут отлетать на большие расстояния от оборудования и стать причиной травмирования людей. Поэтому требуется определить опасные зоны.

2.1.Примеры решения задач

Задача 1.

Определите максимальное расстояние, на которое может отлететь осколок шлифовального круга, вращающегося без ограждения. Диаметр круга 200 мм, ширина 30 мм, масса осколка 5 г, скорость вращения круга 2000 об/мин.

Решение.

1. Определяем начальные условия полета осколка: скорость, угол полета.

Максимальное расстояние, на которое может отлететь осколок возможно, когда начальный угол полета составляет 45° относительно горизонта (рисунок 1).

Рисунок 1.

Вектор скорости необходимо разложить на составляющие: горизонтальную и вертикальную. Скорость по горизонтали $V_г$ принимаем постоянную, а скорость по вертикали $V_в$ – переменную : при полете осколка вверх скорость замедляется $g = 9{,}8$ м/с^2 , а при опускании вниз возрастает с ускорением $g = 9{,}8$ м/с^2.

Окружная скорость круга V, м/с

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60},$$

где D – диаметр круга, м;

n – число оборотов круга, об/мин.

$$V = \frac{\pi \cdot 0.2 \cdot 2000}{60} = 20.9\ м/с,$$

$$V_г = V \cdot \cos\alpha = 20.9 \cdot \cos 45^o = 14.8\ м/с,$$

$$V_в = V \cdot \sin\alpha = 20.9 \cdot \sin 45^o = 14.8\ м/с,$$

2. Время полета на 1 участке (вверх) – равнозамедленное. Время через которое скорость $V_в$ станет равна нулю определится из уравнения:

$$V_в - gt1 = 0,$$

$$V_в = gt1,$$

$$t1 = \frac{V_в}{g},$$

$$t1 = \frac{14.8}{9.8} = 1.47\ с.$$

3. Расстояние, на которое может улететь осколок за время t1:

$$l1 = V_г \cdot t1 = 14.8 \cdot 1.47 = 21.9\ м.$$

4. На участке 2 осколок движется вниз равноускоренно и время его опускания будет равно времени t1.

$$t1 = t2 = 1.47\ с.$$

$$l2 = V_г \cdot t2 = 14.8 \cdot 1.47 = 21.9\ м.$$

Максимальное расстояние:

$$l = l1 + l2 = 21.9 + 21.9 = 43.8\ м.$$

Задача 2.

Рассчитать скорость полета осколка металла (стружки) при отрезании заготовки на токарном станке и заклинивании резца. Резец выполнен из легированной стали. Размеры резца показаны на рисунке 1. Обрабатываемый материал – сталь Ст3. Осколок имеет форму отсеченного под углом 45° параллелепипеда, размеры указаны на рисунке 2.

Решение.

1. Определяем массу осколка:

$$m = V \cdot \rho,$$

где m – масса осколка, кг;

V – объем осколка, $см^3$;

ρ - плотность материала, кг/$см^3$.

Объем :

$$V = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 22.5 \cdot 10^{-3}\ см^3.$$

Масса:

$$m = 22.5 \cdot 10^{-3} \cdot 7.8 = 160 \cdot 10^{-3} = 0{,}16 \cdot 10^{-3}\ кг.$$

2. Усилие среза осколка по скошенной поверхности:

$$P = \sigma_{ср} \cdot F_{ср,}$$

где P – усилие среза, Н;

$\sigma_{ср}$ – предельное напряжение на срез, Па;

$F_{ср}$ – площадь среза, м^2.

$$P = 210 \cdot 10^6 \cdot \left[\left(3^2 + 3^2\right)^{1/2} \cdot 5 \right] \cdot 10^{-6} = 4200\ H.$$

3. Работа на перемещение (разгон) осколка при распрямлении резца после среза:

$$A_{ср} = \frac{P}{2} \cdot \delta,$$

где $A_{ср}$ – работа на разгон осколка, Дж;

δ - прогиб резца, м.

4. Прогиб резца

$$\delta = \frac{5 \cdot P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot Y_x},$$

где *l* – длина участка резца, подвергающегося изгибу, м;

E – модуль упругости материала резца, Па;

Y_x – момент инерции сечения резца при изгибе, м^4,

$$Y_x = \frac{b \cdot a^3}{2},$$

где a – высота резца, м;

b – ширина резца, м.

Подставив уравнение (5) в (4) получим

$$\delta = \frac{5 \cdot P \cdot l^3 \cdot 12}{48 \cdot E \cdot b \cdot a^3} = \frac{5 \cdot P \cdot l^3}{12 \cdot E \cdot b \cdot a^3}.$$

5. Подставив уравнение (6) в (3) получим значение работы на разгон осколка:

$$A_{ср} = \frac{P}{2} \cdot \frac{5 \cdot P \cdot l^3}{12 \cdot E \cdot b \cdot a^3} = \frac{5 \cdot P^2 \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot b \cdot a^3}.$$

$$A_{ср} = \frac{5 \cdot 4200^2 \cdot \left(40 \cdot 10^{-3}\right)^3}{24 \cdot 2.2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot \left(15 \cdot 10^{-3}\right)^3} = 0.03\ Дж.$$

6. Кинетическая энергия

$$E_{кин} = \frac{mV^2}{2},$$

$$E_{кин} = A_{ср},$$

$$A_{ср} = \frac{mV^2}{2}$$

$$V = \sqrt{\frac{2A_{ср}}{m}} = \sqrt{\frac{60}{0.16}} = 25\ м/с.$$

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую схему и рассчитать параметры опасной зоны от полета осколков инструмента (по заданию преподавателя).

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета опасной зоны.

4.2. Рассчитать основные параметры опасной зоны. Исходные размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы, расчет параметров.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяется окружная скорость шлифовального круга?
2. От каких параметров зависит дальность полета осколков инструмента?
3. От каких параметров зависит высота полета осколков?
4. При каком угле вылета осколка дальность полета будет максимальной?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник. С.В.Белов, А.Ф.Козьяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова. – М.: Машиностроение, 1989.- 368 с.

2. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В.Белов, В.Н.Бринза, Б.С.Векшин и др., Под общ. ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.,

«Расчет экранов на прочность»

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета экранов на прочность.

Задачи работы: изучить методику расчета экранов на прочность, выполнить расчет экрана по выданному варианту.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Расчет экрана на изгиб при статической нагрузке

Расчетная схема представлена на рисунке 1.1. Усилие P приложено в середине экрана. Экран выполнен из прозрачного стекла, помещенного в металлическую рамку. Усилие изгибает стекло относительно боковых сторон рамки, а также верхней и нижней сторон. Поэтому реакции в каждой из сторон будут равны P/4.

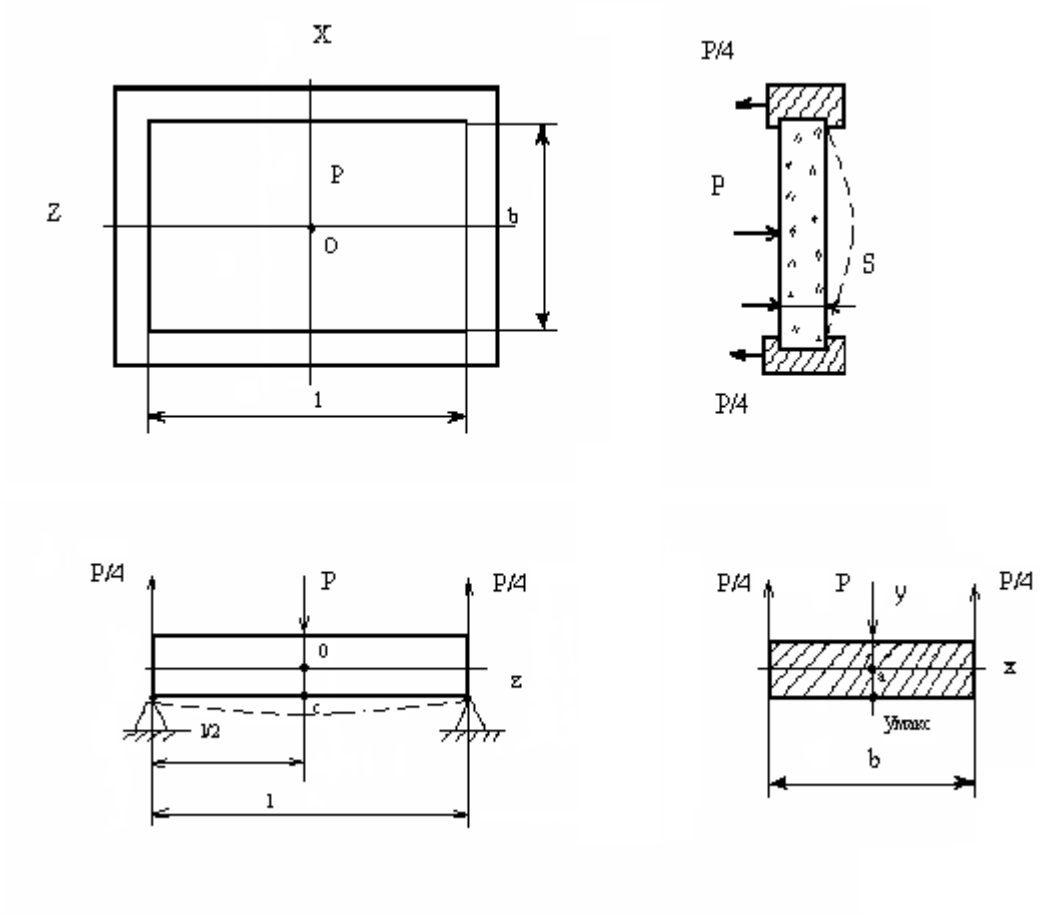


Рисунок 1.1 – Схема расчета экрана на изгиб
при статической нагрузке

Так как усилие, приложенное к стеклу экрана, воспринимается боковыми, верхней и нижней сторонами рамки, то суммарное напряжение в стекле определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2}\,, \qquad (1.1)$$

где σ – суммарное напряжение при изгибе стекла, Па;

σ_x - напряжение при изгибе стекла относительно оси X (относительно боковых сторон рамки), Па;

σ_z - напряжение при изгибе стекла относительно оси Z (относительно верхней и нижней сторон рамки), Па.

Наибольшее напряжение при изгибе стекла относительно оси X возникает в точке “C”, где происходит растяжение стекла. Напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Y_x} \cdot y_{макс}\,, \qquad (1.2)$$

где M_x – изгибающий момент относительно оси X, Н·м;

Y_x – момент инерции сечения относительно оси X, м^4;

$y_{макс}$ – расстояние от оси изгиба X до наиболее удаленной точки (от точки “O” до точки “C”), м.

Изгибающий момент

$$M_x = \frac{P}{4} \cdot \frac{l}{2} = \frac{P \cdot l}{8}\,, \qquad (1.3)$$

где P – усилие, приложенное к середине экрана, Н;

l – длина экрана, м.

Момент инерции для прямоугольного сечения экрана относительно оси X

$$Y_x = \frac{b \cdot S^3}{12}\,, \qquad (1.4)$$

где b – ширина экрана, м;

S – толщина экрана, м.

Расстояние $y_{макс}$ равно половине толщины экрана сечения, то есть

$$y_{макс} = \frac{S}{2}\,, \qquad (1.5)$$

Подставив значения параметров уравнений (1.3), (1.4) и (1.5) в уравнение (1.2) получим

$$\sigma_x = \frac{P \cdot l \cdot 12 \cdot S}{8 \cdot b \cdot S^3 \cdot 2} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{4 \cdot b \cdot S^2}\,. \qquad (1.6)$$

Аналогичным образом можно получить значение напряжения при изгибе экрана относительно оси Z

$$\sigma_z = \frac{3 \cdot P \cdot b}{4 \cdot l \cdot S^2}\,. \qquad (1.7)$$

Подставив в уравнение (1) значения σ_x и σ_z из формул (1.6) и (1.7) получим

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{3 \cdot P \cdot l}{4 \cdot b \cdot S^2}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot P \cdot b}{4 \cdot l \cdot S^2}\right)^2},$$

и упростив уравнение

$$\sigma = \frac{3 \cdot P}{4 \cdot b \cdot l \cdot S^2} \cdot \sqrt{l^4 + b^4}. \qquad (1.8)$$

Задача 1.1

Определить напряжение в стекле экрана, выполненного из безопасного стекла (триплекса) при приложении усилия в центре экрана 50 Н. Размеры экрана 0,2×0,15 м. Толщина экрана 4 мм.

Решение

Определяем напряжение по формуле (1.8)

$$\sigma = \frac{3 \cdot P}{4 \cdot b \cdot l \cdot S^2} \cdot \sqrt{l^4 + b^4},$$

где σ – суммарное напряжение при изгибе стекла, Па;

P – усилие, приложенное к середине экрана, Н;

l – длина экрана, м;

b – ширина экрана, м;

S – толщина экрана, м.

$$\sigma = \frac{3 \cdot 50}{4 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}2 \cdot 4^2 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{(0{,}2^4 + 0{,}15^4)} = 3{,}6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 3{,}6 \text{ МПа}.$$

Расчетное напряжение при изгибе стекла в два раза выше напряжения на растяжение триплекса 1,8 МПа.

Задача 1.2

Определить толщину экрана из безопасного стекла (триплекса). Длина экрана 200 мм, ширина 150 мм. Усилие, приложенное к середине экрана,

50 Н. Допустимое напряжение на изгиб стекла $180 \cdot 10^4$ Н/м^2.

Решение

Толщину экрана определяем по формуле (1.8):

$$S = \left[\frac{3 \cdot P \cdot \left(l^4 + b^4\right)^{1/2}}{4 \cdot b \cdot l \cdot \sigma}\right]^{1/2},$$

где S – толщина экрана, м;

σ – суммарное напряжение при изгибе стекла, Па;

P – усилие, приложенное к середине экрана, Н;

l – длина экрана, м;

b – ширина экрана, м.

$$S = \left[\frac{3 \cdot 50 \cdot \left(0{,}2^4 + 0{,}15^4\right)^{1/2}}{4 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}2 \cdot 180 \cdot 10^4} \right]^{1/2} = 5{,}7 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5{,}7 \text{ мм}.$$

2 Расчет экранов на ударную нагрузку

Экраны, выполненные из прозрачных материалов, могут воспринимать ударную нагрузку от отлетающих осколков инструмента, крупной стружки, а также отдельных элементов обрабатываемых деталей. При ударе осколков экран изгибается и может разрушиться. Схема воздействия осколка на экран показана на рисунке 2.1.

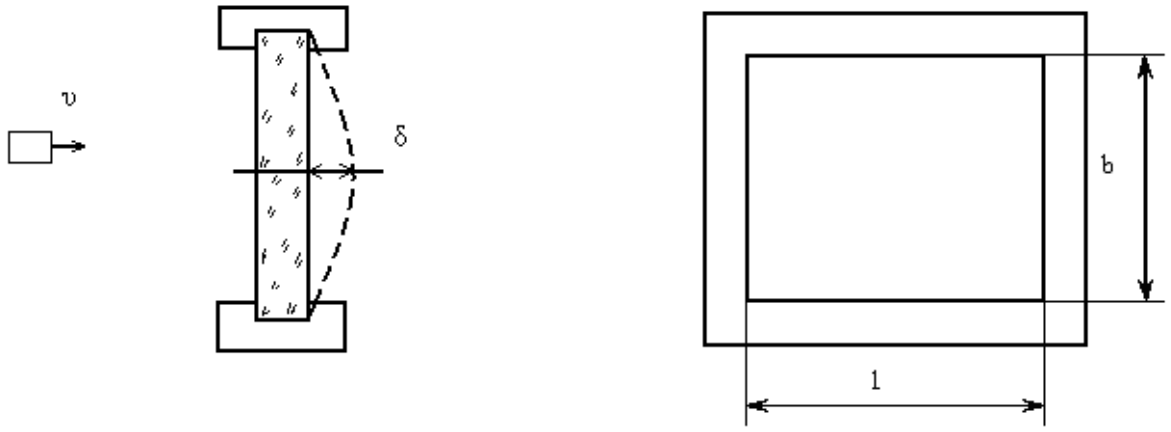


Рисунок 2.1 – Схема расчета экрана на изгиб при динамической нагрузке

При полете осколка и ударе об экран кинетическая энергия осколка переходит в работу по изгибу экрана.

$$E_{кин} = A, \qquad (2.1)$$

$$\frac{m \cdot \upsilon^2}{2} = \frac{P_{дин}}{2} \cdot \delta_{дин}, \qquad (2.2)$$

где $E_{кин}$ – кинетическая энергия осколка, Дж;

A – работа на изгиб экрана, Дж;

m – масса осколка, кг;

υ – скорость полета осколка, м/с;

$P_{дин}$ – динамическое усилие на изгиб экрана, Н;

$\delta_{дин}$ – величина прогиба экрана, м.

Величина прогиба экрана

$$\delta_{дин} = \frac{P_{дин} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot Y_x}, \qquad (2.3)$$

где l – длина экрана, м;

E – модуль упругости материала экрана, Н/м^2;

Y_x – момент инерции сечения экрана относительно оси X, м^4.

Для прямоугольного сечения

$$Y_x = \frac{b \cdot S^4}{12}, \qquad (2.4)$$

где b – ширина экрана, м;

S – толщина экрана, м.

Подставив уравнение (2.4) в (2.3) получим

$$\delta_{дин} = \frac{P_{дин} \cdot l^3 \cdot 12}{48 \cdot E \cdot b \cdot S^3} = \frac{P_{дин} \cdot l^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3}, \qquad (2.5)$$

Подставив уравнение (2.5) в (2.2) получим

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{P_{дин}}{2} \cdot \frac{P_{дин} \cdot l^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3}$$

или $$m\upsilon^2 = \frac{P_{дин}^2 \cdot l^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3}, \qquad (2.6)$$

Напряжение при изгибе экрана определяется по формуле

$$\sigma_{дин} = \frac{M_x}{Y_x} \cdot y, \qquad (2.7)$$

где $\sigma_{дин}$ – напряжение в материале при изгибе экрана, Н/м^2;

M_x – изгибающий момент относительно оси X, Н·м;

y – наибольшее расстояние от оси X до края сечения, м.

$$y = \frac{S}{2}, \qquad (2.8)$$

Изгибающий момент

$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{P \cdot l}{4}. \qquad (2.9)$$

Из уравнений (2.8), (2.9) и (2.7) найдем

$$\sigma_{дин} = \frac{P \cdot l \cdot 12 \cdot S}{4 \cdot b \cdot S^3 \cdot 2} = \frac{3 \cdot P_{дин} \cdot l}{2 \cdot b \cdot S^2}, \qquad (2.10)$$

Из (2.10) усилие

$$P = \frac{2 \cdot \sigma_{дин} \cdot b \cdot S^2}{3 \cdot l}. \qquad (2.11)$$

Подставив уравнение (2.11) в (2.6) получим

$$m \cdot \upsilon_{дин}^2 = \frac{\sigma_{дин}^2 \cdot 4 \cdot b^2 \cdot S^4 \cdot l^2}{9 \cdot l \cdot 4 \cdot E \cdot b \cdot S^3},$$

или $$m \cdot \upsilon_{дин}^2 = \frac{\sigma_{дин}^2 \cdot b \cdot S \cdot l}{9 \cdot E}. \qquad (2.12)$$

Напряжение в экране от изгиба

$$\sigma_{дин} = \left[\frac{9 \cdot E \cdot m \cdot \upsilon^2}{l \cdot b \cdot S}\right]^{1/2}, \qquad (2.13)$$

расчетная толщина экрана

$$S_{расч} = \frac{9 \cdot E \cdot m \cdot \upsilon^2}{l \cdot b \cdot \sigma_{доп}^2}, \qquad (2.14)$$

где $S_{расч}$ – расчетная толщина экрана, м;

$\sigma_{доп}$ – допустимое напряжение на изгиб материала экрана, Н/м^2.

Задача 2.1

Определить необходимую толщину экрана из безопасного стекла размером 0,2×0,15 м при ударе осколка массой 10 г и скорости полета 2 м/с. Допустимое напряжение на изгиб $\sigma_{доп}$ = 1,8 МПа; модуль упругости стекла $3{,}44 \cdot 10^8$ Н/м^2.

Решение

По формуле (2.14)

$$S_{расч} = \frac{9 \cdot E \cdot m \cdot \upsilon^2}{l \cdot b \cdot \sigma_{доп}^2},$$

где $S_{расч}$ – расчетная толщина экрана, м;

m – масса осколка, кг;

υ – скорость полета осколка, м/с;

$\sigma_{доп}$ – допустимое напряжение на изгиб материала экрана, Н/м^2;

E – модуль упругости материала экрана, Н/м^2;

b – ширина экрана, м;

l – длина экрана, м.

$$S_{расч} = \frac{9 \cdot 3{,}34 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 2^2}{0{,}2 \cdot 0{,}15 \cdot 1{,}8^2 \cdot 10^{12}} = 1{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1{,}3 \text{ мм}.$$

Расчет экрана на прошивание

Задача 3

Стальной штифт диаметром 3 мм и длиной 8 см вылетает из механизма привода станка и попадает торцом на кожух. Скорость полета штифта 30 м/с. Кожух выполнен из стали Ст3, толщиной 0,8 мм. Определить, пробьет ли штифт кожух, и если пробьет, то с какой скоростью он может лететь дальше?

Решение.

1. Определим массу штифта.

$$m = V_ш \cdot \rho,$$

где m – масса штифта, кг;

$V_ш$ – объем штифта, м^3;

ρ - плотность материала штифта, кг/м^3.

Объем штифта:

$$V_ш = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = \frac{\pi \cdot \left(3 \cdot 10^{-3}\right)^2}{4} \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 60 \cdot 10^{-8}\ м^3,$$

где d – диаметр штифта, м;

l – длина штифта, м;

$$m = 60 \cdot 10^{-8} \cdot 7800 = 4.5 \cdot 10^{-3}\ кг.$$

2. Кинетическая энергия штифта:

$$E_{кин1} = \frac{m \cdot V_1^2}{2},$$

где V_1 – скорость полета штифта, м/с.

$$E_{кин1} = \frac{4.5 \cdot 10^{-3} \cdot 30^2}{2} = 2\ Дж,$$

3. Работа на «прошивание» кожуха штифтом А, Дж :

$$A = P \cdot S = \sigma_{ср} \cdot П \cdot S \cdot S = \sigma_{ср} \cdot П \cdot d \cdot S^2,$$

где P – сила на прошивание, Н;

S – толщина кожуха, м;

$\sigma_{ср}$ – предельное напряжение на срез материала кожуха, Н/м^2;

П – периметр среза, м.

$$A = 210 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(0.8 \cdot 10^{-3}\right)^2 = 2.1 \cdot 0.64 = 1.3\ Дж.$$

Штифт кожух пробьет.

4. Энергия штифта после пробоя кожуха будет составлять:

$$E_{кин2} = E_{кин1} - A = 2 - 1{,}3 = 0{,}7\ Дж.$$

5. Скорость полета штифта после прошивания кожуха:

$$V_2 = \left(\frac{2 \cdot E_{кин2}}{m}\right)^{1/2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.7}{4.5 \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{\frac{1400}{4.5}} = \sqrt{300} = 17\ м/с.$$

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1. Выполнить расчет необходимой толщины экрана на прочность по выданному преподавателем варианту.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета экрана на прочность.

4.2. Выполнить расчет необходимой толщины экрана на прочность по варианту, выданному преподавателем.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схему защитного экрана, расчет толщины экрана.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. От каких параметров экрана зависит его прочность?
6.2. Что такое модуль упругости материала экрана и единицы измерения?
6,3. Что характеризует допустимое напряжение на изгиб материала?
6.4. От каких факторов зависит пробъет или не пробъет элемент экран?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник/ С.В.Белов, А.Ф.Козъяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1989.-368 с.

2. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 1980.- 258 с.

3. Динамика удара: Пер. с англ./ Дж.А Зукас, Т.Николас, Х. Свифт и др. М.: Мир, 1985.- 296 с..

«Защита от механических перегрузок.
Расчет предохранительной муфты»

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

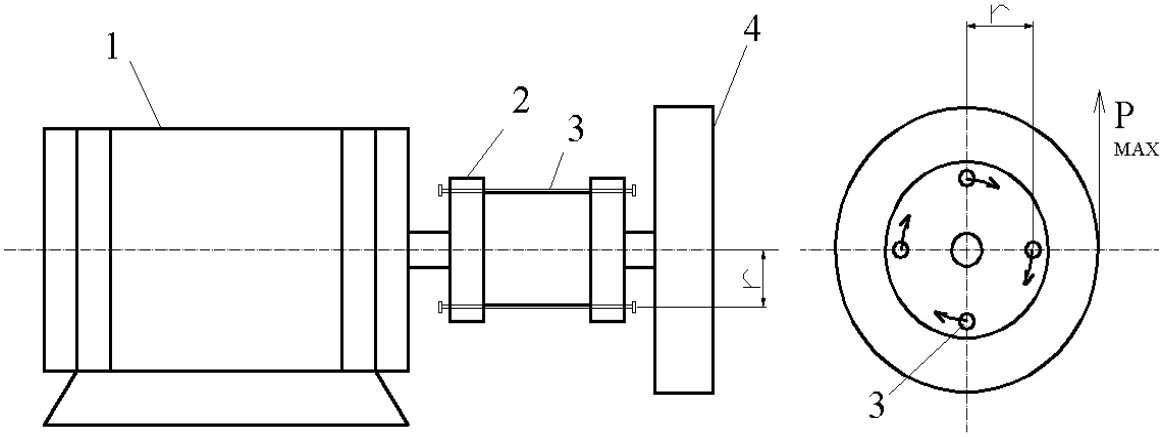
Цель работы: освоить методику расчета предохранительной муфты на прочность.

Задачи работы: изучить методику расчета предохранительной муфты на прочность, выполнить расчет муфты по выданному варианту.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Защита оборудования от механических перегрузок. Расчет параметров предохранительной муфты

В качестве защиты от перегрузок используются муфты (электромагнитные, масляные, турбомуфты, муфты сцепления). Эти муфты ставятся между приводом и инструментом. Например, при заклинивании шлифовального круга и увеличении усилия на круге до P_{max} срезаются штифты (болты) на предохранительной муфте (рисунок 2.1)



1 – привод (электродвигатель, редуктор); 2 – предохранительная муфта; 3 – штифт; 4 – шлифовальный круг

Рисунок 2.1 – Схема крепления муфты сцепления

Диаметр болтов или штифтов в предохранительной муфте можно определить из уравнения моментов сил резания и реакций на штифтах:

$$RP_{макс} = n \cdot T \cdot r \quad , \qquad (2.1)$$

где T – предельное усилие на срез штифтов, Н,

$$T = \sigma_{пр} \cdot F \qquad (2.2)$$

$$R \cdot P_{max} = n \cdot F \cdot r \cdot \sigma_{пр} \qquad (2.3)$$

где P_{max} – максимальное усилие резания, Н;
R – радиус шлифовального круга, м;
n – число предохранительных элементов (штифтов);
r – расстояние от центра муфты до центра штифта, м;
$\sigma_{пр}$ – предел прочности материала штифтов, Па.

$$F = \frac{\pi d^2}{4}, \qquad (2.4)$$

где F – площадь сечения одного штифта, $м^2$;
d – диаметр штифта, м.
Из уравнений (2.1) и (2.2) определим диаметр штифта d:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{P_{max} \cdot R}{n \cdot r \cdot \sigma_{пр}}, \qquad d = \sqrt{\frac{4P_{max} \cdot R}{\pi \cdot n \cdot r \cdot \sigma_{пр}}} \qquad (2.5)$$

Задача 1

Дано: максимальное усилие резания P_{max} = 2 кН, радиус шлифовального круга R = 80 мм; число шпилек в предохранительной муфте – 4, расстояние шпилек от центра r = 40 мм; материал шпилек – сталь Ст 3, предел прочности стали Ст 3 на срез $\sigma_{пр}$ = 210 МПа. Определить диаметр шпилек в предохранительной муфте.

Решение

Из уравнения (2.5) находим

$$d = \left(\frac{4 \cdot P_{макс} \cdot R}{\pi \cdot \sigma_{пр} \cdot n \cdot r}\right) = \left(\frac{4 \cdot 2000 \cdot 0{,}08}{\pi \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 0{,}04}\right)^{1/2} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}\, м = 2{,}5 мм$$

Задача 2

Дано: максимальное усилие резания P_{max} = 2 кН, радиус шлифовального круга R = 80 мм; число шпилек в предохранительной муфте – 6, расстояние шпилек от центра r = 40 мм; материал шпилек – сталь Ст 3, предел прочности стали Ст 3 на срез $\sigma_{пр}$ = 210 МПа. Определить диаметр штифта.

Решение

Диаметр штифта определяем из уравнения (2.5):

$$d = \left(\frac{4 \cdot P_{макс} \cdot R}{\pi \cdot \sigma_{пр} \cdot n \cdot r} \right) = \left(\frac{4 \cdot 2000 \cdot 0{,}08}{3{,}14 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 0{,}04} \right)^{1/2} = 2 \cdot 10^{-3} м = 2 мм$$

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1. Выполнить расчет необходимой толщины штифтов муфты на прочность по выданному преподавателем варианту.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета предохранительной муфты на прочность.

4.2. Выполнить расчет необходимой толщины штифтов муфты на прочность по варианту, выданному преподавателем.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схему защитной муфты, расчет толщины штифтов муфты.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. От каких параметров муфты зависит ее прочность?

6.2. Что такое модуль упругости материала штифтов и единицы измерения?

6,3. Что характеризует допустимое напряжение на изгиб материала?

6.4. От каких факторов зависит разрушится или нет муфта?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник/ С.В.Белов, А.Ф.Козъяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1989.-368 с.

2. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 1980.- 258 с.

3. Динамика удара: Пер. с англ./ Дж.А Зукас, Т.Николас, Х. Свифт и др. М.: Мир, 1985.- 296 с..

«Расчет строповочной оснастки для грузоподъемных кранов»

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: научиться выполнять расчет строповочной оснастки для крана.

Задачи работы: изучить методику расчета строп на прочность,выполнить расчет строп.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Стальные проволочные канаты, применяемые в качестве строповочной оснастки, должны быть при проектировании и перед установкой на грузоподъемную машину проверены на прочность расчетом. Расчет проводится по формуле:

$$P / S > K, \qquad (1)$$

где P - разрывное усилие каната в целом, принимаемое по сертификату, а при проектировании – по данным государственного стандарта, Н;

S - наибольшая сила натяжения ветви каната, Н;

K - коэффициент запаса прочности.

Если в сертификате или в свидетельстве об испытании дано суммарное разрывное усилие, то усилие P должно быть определено умножением суммарного разрывного усилия на 0,85 или на соответствующий коэффициент, определяемый по государственному стандарту на канат выбранной конструкции.

Расчет стропов из стальных канатов долженпроизводиться по формуле (1) с учетом числа ветвей канатов n и угла наклона их к вертикали α .

При известном весе груза, натяжение, возникающее в каждой ветви (стропах) определяется по формуле:

$$S = G / (n \cdot \cos \alpha), \qquad (2)$$

где S – сила натяжения в канате (стропах), Н;

G – вес груза, Н;

n – число стропов;

α – угол между стропами, градус;

($\cos 0^o = 1$; $\cos 30^o = 0,87$; $\cos 45^o = 0,7$).

При расчете стропов общего назначения, имеющих несколько ветвей, расчетный угол между ветвями должен приниматься равным 90°. Для стропов, предназначенных для подъема определенного груза, при расчете может приниматься фактический угол.

При расчете стропов для подъема грузов с обвязкой или зацепкой крюками, кольцами или серьгами коэффициент запаса прочности канатов должен приниматься не менее 6.

При пределе прочности проволоки каната для стропов 1600 Мпа и коэффициенте запаса прочности К = 6 диаметр стропов можно выбрать по таблице.

Цепи, применяемые для изготовления стропов, должны иметь свидетельство завода изготовителя об их испытании в соответствии с государственным стандартом, по которому они изготовлены.

Сварные и штампованные цепи стропов долнны рассчитываться с коэффициентом запаса равным 5.

Пеньковые и хлопчатобумажные канаты допускаются для изготовления стропов и грузовых сеток. Расчет стропов из пеньковых и хлопчатобумажных канатов производится по формулам (1) и (2) с учетом числа ветвей канатов и угла наклона их к вертикали. При этом коэффициент прочности должен быть не менее 8.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1 Выбрать необходимую конструкцию строп и рассчитать длину строп и их диаметр для зацепки и перемещения определенной конструкции (узла, детали, приспособления), по заданию преподавателя.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить способы строповки грузов и виды строп.

4.2. Выбрать конструкцию строп и рассчитать их основные параметры (диаметр каната и длину строп). Перемещаемый груз и его размеры выдает преподаватель.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схемы строповки грузов, расчет строп.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Какие виды строп применяются для перемещения грузов?

6.2. Какие виды канатов применяются для изготовления строп?

6.3. Какой запас прочности должен быть при выборе строп из стального каната?

6.4. По какой формуле производится расчет усилий в стропах при подъеме грузов?

6.5. Какой угол должен быть принят при расчете строп для двух и четырехзвенного стропа?

Список литературы

1. Долин П.А. Справочник по технике безопасности.- 5-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоиздат, 1982. –800 с.

"Расчет сосудов, работающих под давлением, и трубопроводов"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета сосудов, работающих под давлением, на прочность.

Задачи работы: изучить методику расчета толщины стенок сосудов, работающих под давлением, выполнить расчет по выданному варианту.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Каждый сосуд или трубопровод должен быть прочным, безопасным в обслуживании и экономически целесообразным.

С точки зрения экономии металла и равномерного распределения напряжений, наиболее рациональной формой является сферическая. Однако изготовление сферических оболочек сложно и дорого, поэтому в большинстве случаев сосуды изготавливаются цилиндрической формы.

Сосуды, работающие под давлением, аварии которых могут привести к травмам обслуживающего персонала, находятся под наблюдением Госгортехнадзора России. По этой причине для расчета таких сосудов имеются нормативные зависимости, обязательные для соблюдения.

Для ориентировочного расчета сосудов цилиндрической формы и трубопроводов следует вначале выбрать материал с учетом его прочности, коррозийной стойкости и технологичности. Следует иметь в виду, что свойства материалов значительно изменяются с повышением температуры. Например, алюминий, медь, никель сохраняют вязкость до +350 ^{0}С, а железо при этой температуре становится хрупким. Для хромоникелевых сталей Х18Н9Т и Х19Н10Т характерны высокие значения прочности, пластичности и вязкости в диапазоне температур до 500 ^{0}С (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Нормативные допускаемые напряжения $\sigma_{доп}$, МПа

Температура стенки сосуда (трубопровода), ^{0}С	Углеродистые и низколегированные стали		Теплостойкие и кислотостойкие стали			
	ВСт3пс ВСт3Гпс	09Г2С 16ГС	12ХМ	15Х5М	12Х18Н10Т 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т
20	140	170	147	146	160	140
100	134	160	147	141	152	130
150	131	154	146	138	146	120
200	126	148	145	134	140	115
300	108	134	141	120	130	100
400	85	105	132	105	121	86
450	-	71	124	94	117	85
500	-	-	98	70	113	81

Толщина стенки цилиндрической части сосуда (или трубопровода) определяется следующим образом.

Усилие на разрыв цилиндрической части сосуда (рисунок 2.1) определяется по формуле:

$$T = p \cdot D \cdot l, \qquad (2.1)$$

где T – усилие на разрыв, возникающее вследствие давления внутри цилиндра, Н;

p – расчетное давление внутри цилиндрической части сосуда (трубопровода), Па;

l – длина цилиндра, м.

Усилие T не должно превышать усилия сопротивления стенок цилиндра (допустимого предела прочности)

$$T = 2 \cdot S_{расч} \cdot l \cdot \sigma_{доп.т}, \qquad (2.2)$$

где $S_{расч}$ – толщина стенки цилиндра, м;

$\sigma_{доп.т}$ – допустимое напряжение материала с учетом температуры стенок сосуда, Па.

Из уравнений (5.1) и (5.2) определяем толщину стенок цилиндрической части сосуда (трубопровода):

$$p \cdot D \cdot l = 2 \cdot S_{расч} \cdot l \cdot \sigma_{доп.т};$$

откуда

$$S_{расч} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{доп.т}}. \qquad (2.3)$$

Расчетное значение толщины стенок необходимо увеличить с учетом технологических погрешностей при изготовлении сосуда (трубопровода), а также учитывая коррозию материала. Поэтому толщина стенок определяется по формуле

$$S = S_{расч} + C_1 + C_2, \qquad (2.4)$$

где C_1 – прибавка по технологическим причинам, м;

C_2 – прибавка на коррозию металла, м.

Прибавку C_1 принимают в зависимости от технологии изготовления (C_1 = 0,1…0,5 мм).

Величина прибавки на коррозию зависит от скорости проникновения коррозии υ и срока службы изделия τ:

$$C_2 = \upsilon \cdot \tau.$$

Для аппаратов, изготовленных из углеродистых сталей и работающих в условиях атмосферной коррозии, прибавку C_2 принимают в пределах 1-3 мм.

При изготовлении химического оборудования обычно применяют материалы, скорость коррозии которых не превышает 0,1-0,5 мм/год.

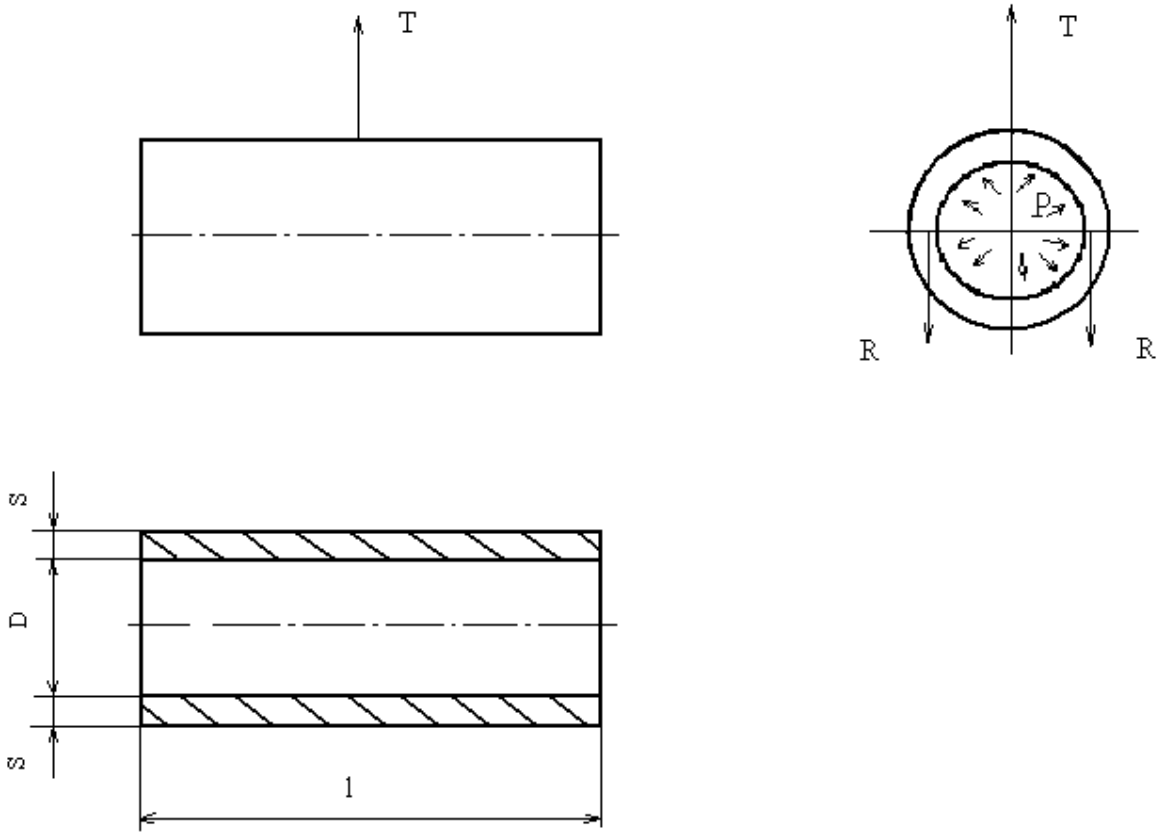


Рисунок 5.1 – Расчетная схема для определения толщины стенки цилиндра

Задача 5.1

Определить толщину стенки цилиндрической части парового котла диаметром 0,5 м, котел выполнен из стали 15Х5М. Максимальное давление пара 24 МПа. Температура стенок котла может достигать 300 ^{0}С.

Решение

Из таблицы 5.1 выбираем допустимое напряжение для материала котла

$$\sigma_{доп.т} = 120 \text{ МПа}.$$

По формуле 5.3 определяем расчетную толщину стенок котла

$$S_{расч} = \frac{2{,}4 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5}{2 \cdot 120 \cdot 10^6} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5 \text{ мм}.$$

С учетом прибавки по технологическим причинам и на коррозию металла толщина стенки трубопровода равна

$$S = S_{расч} + C_1 + C_2 = 5 + 0{,}5 + 3 = 8{,}5 \text{ мм}.$$

Принимаем S = 9 мм.

Задача 5.2

Определить толщину стенки трубопровода для подачи воды под давлением 6 МПа. Материал трубопровода – сталь Ст3пс, внутренний диаметр 20 мм. Температура $+20^0$С.

Решение

Расчетную толщину стенки трубопровода определяем по формуле 5.3

$$S_{расч} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{доп.т}},$$

$$S_{расч} = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} = 0{,}43 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0{,}43 \text{ мм}.$$

С учетом прибавки по технологическим причинам и на коррозию металла толщина стенки трубопровода равна

$$S = S_{расч} + C_1 + C_2 = 0{,}43 + 0{,}2 + 2 = 2{,}43 \text{ мм}.$$

Принимаем S = 2,5 мм.

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1. Выполнить расчет необходимой толщины стенок сосуда, работающего под давлением, по выданному преподавателем варианту.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета сосуда прочность.

4.2. Выполнить расчет необходимой толщины стенок сосуда на прочность по варианту, выданному преподавателем.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, расчетную схему, результаты расчета.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. От каких параметров сосуда зависит его прочность?

6.2. Что такое модуль упругости материала и единицы измерения?

6,3. Что характеризует допустимое напряжение на изгиб материала?

6.4. От каких факторов зависит разрушится или нет сосуд?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник/ С.В.Белов, А.Ф.Козъяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1989.-368 с.

2. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 1980.- 258 с.

3. Динамика удара: Пер. с англ./ Дж.А Зукас, Т.Николас, Х. Свифт и др. М.: Мир, 1985.- 296 с..

«Расчет ограждений и настилов на прочность»

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета предохранительных ограждений и настилов на прочность.

Задачи работы: изучить методику расчета ограждений и настилов на прочность, выполнить расчет по выданному варианту.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Расчет на прогиб ограждения при падении на него груза с высоты

Груз массой 100 кг падает с высоты 2 м на ограждение в виде бруса, уложенного на две опоры (рисунок 2.1). Брус выполнен из стали Ст3, он имеет длину 1,5 м, толщину 15 мм и ширину 50 мм. Определить максимальное напряжение на изгиб в критическом сечении бруса.

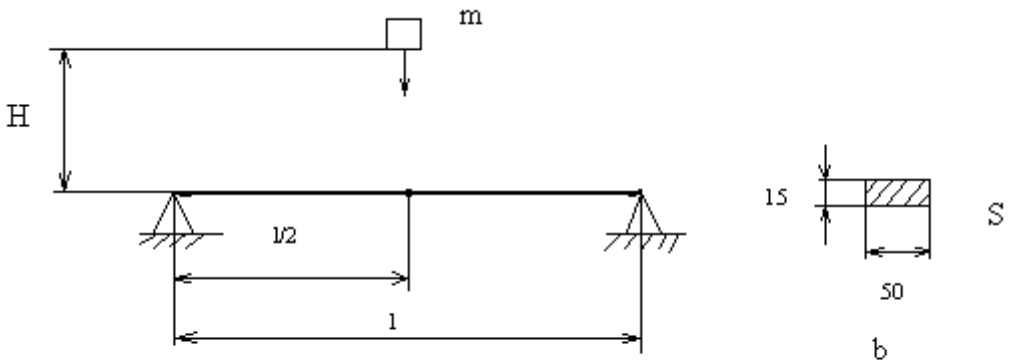
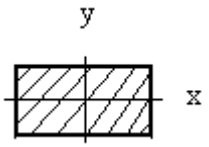


Рисунок 2.1 – Схема расчета экрана на изгиб при падении тела с высоты

Справочные данные



$$Y_x = \frac{b \cdot S^3}{12}$$

Модуль упругости стали $E = 2 \cdot 10^{11}$ МПа.

Предел прочности стали $\sigma_{пред.пр} = 350$ МПа.

Решение

1. Определяем кинетическую энергию, которую приобретает груз при падении с высоты

$$Э_{кин} = \frac{m \cdot \upsilon_к^2}{2}, \qquad (3.1)$$

где $Э_{кин}$ – кинетическая энергия груза, Дж;

m – масса груза, кг;

$\upsilon_к$ – скорость груза в момент соприкосновения с брусом (конечная скорость), м/с.

Начальная скорость груза равна нулю. Груз движется равноускоренно.

$$\upsilon_к = g \cdot t,$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2;

t – время падения груза, с.

$$H = \frac{\upsilon_к}{2} \cdot t; \quad t = \frac{2 \cdot H}{\upsilon_к}.$$

$$\upsilon_к = \frac{g \cdot 2 \cdot H}{\upsilon_к}; \quad \upsilon_к^2 = 2 \cdot g \cdot H.$$

$$Э_{кин} = \frac{m \cdot 2 \cdot g \cdot H}{2} = m \cdot g \cdot H. \qquad (3.2)$$

2. Кинетическая энергия $Э_{кин}$ передается на брус, который изгибается и при этом совершается работа А,

$$Э_{кин} = A. \qquad (3.3)$$

3. Работа на изгиб бруса определяется по формуле

$$A = \frac{P_м}{2} \cdot \delta, \qquad (3.4)$$

где $P_м$ – максимальное значение силы, приложенной к брусу, Н;

δ – максимальный прогиб бруса, м.

Так как сила, приложенная к брусу, возрастает от 0 до $P_{макс}$, то при вычислении работы принимаем $P_{макс}/2$.

4. Максимальный прогиб бруса будет в его середине,

$$\delta = \frac{P_м \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot Y_x}, \tag{3.5}$$

где l – расстояние между опорами, м;

E – модуль упругости материала бруса, Па;

Y_x – момент инерции сечения бруса при изгибе, $м^4$,

$$Y_x = \frac{b \cdot S^3}{12}, \tag{3.6}$$

где b – ширина бруса, м;

S – толщина бруса, м.

5. Подставив уравнение (3.6) в (3.5) получим

$$\delta = \frac{P_м \cdot l^3 \cdot 12}{48 \cdot E \cdot b \cdot S^3} = \frac{P_м \cdot l^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3}, \tag{3.7}$$

6. Работа на изгиб бруса определяется из уравнений (3.4) и (3.7)

$$A = \frac{P_м}{2} \cdot \frac{P_м \cdot l^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3} = \frac{P_м^2 \cdot l^3}{8 \cdot E \cdot b \cdot S^3}. \tag{3.8}$$

7. Напряжение в критических волокнах бруса $\sigma_{макс}$

$$\sigma_{макс} = \frac{M_x}{Y_x} \cdot y_{макс}, \tag{3.9}$$

где $\sigma_{макс}$ – напряжение в критических волокнах бруса, $Н/м^2$;

M_x – изгибающий момент относительно оси X, Н·м;

y – максимальное расстояние по оси y, м.

В нашем случае $y_{макс} = \frac{S}{2}$.

8. Изгибающий момент

$$M_x = \frac{P_м}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{P_м \cdot l}{4}. \qquad (3.10)$$

9. Подставив (3.10) в (3.9) получим

$$\sigma_{макс} = \frac{P_м \cdot l \cdot 12 \cdot S}{4 \cdot b \cdot S^3 \cdot 2} = \frac{3 \cdot P_м \cdot l}{2 \cdot b \cdot S^2}, \qquad (3.11)$$

10. Возведем в квадрат левую и правую часть уравнения (3.11), получим

$$\sigma^2_{макс} = \frac{9 \cdot P^2_м \cdot l^2}{4 \cdot b^2 \cdot S^4}. \text{ Откуда } P^2_м = \frac{\sigma^2_{макс} \cdot 4 \cdot b^2 \cdot S^4}{9 \cdot l^2}. \qquad (3.12)$$

Подставим (3.12) в уравнение (3.8)

$$A = \frac{\sigma^2_{макс} \cdot 4 \cdot b^2 \cdot S^4 \cdot l^3}{9 \cdot l^2 \cdot 8 \cdot E \cdot b \cdot S^3} = \frac{\sigma^2_{макс} \cdot b \cdot S \cdot l}{18 \cdot E},$$

$$A = Э_{кин} = m \cdot g \cdot H = \frac{\sigma^2_{макс} \cdot b \cdot S \cdot l}{18 \cdot E},$$

$$\sigma_{макс} = \sqrt{\frac{18 \cdot E \cdot m \cdot g \cdot H}{b \cdot S \cdot l}}.$$

В нашем случае

$$\sigma_{макс} = \sqrt{\frac{18 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 100 \cdot 9{,}8 \cdot 2}{50 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5}} = 2500 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2500 \text{ МПа}.$$

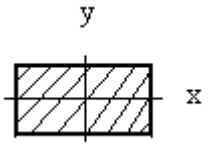
То есть напряжение в 7 раз больше предела прочности стали Ст3. Брус погнется (сломается).

2.3 Расчет параметров настила

Настил длиной 2 м и шириной 1 м выполнен из сосновых досок шириной 100 мм и толщиной 40 мм. Человек массой 80 кг наступает на настил. Определить, какое расстояние должно быть между поперечными опорными

брусками, при котором максимальный прогиб досок будет 3 мм, и рассчитать максимальное напряжение на изгиб (в нижних волокнах доски). Высоту и ширину опорных брусков не учитывать. Нарисовать схему настила, сделать вывод.

Справочные данные



$$Y_x = \frac{b \cdot S^3}{12}$$

Модуль упругости сосны $E = 0{,}1 \cdot 10^5$ МПа;

$\sigma_{доп.раст} = 8$ МПа.

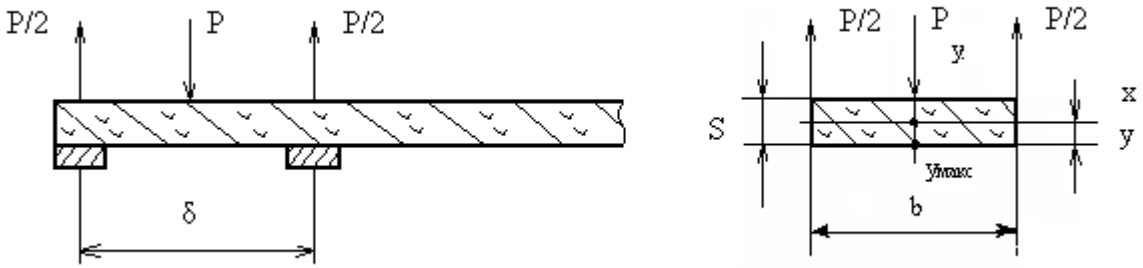


Рисунок 4.1 – Схема настила из сосновых досок

Решение

1. Прогиб доски

$$\delta = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot Y_x}, \qquad (4.1)$$

где δ – прогиб доски, м;

P – усилие, приложенное к середине доски, Н;

l – расстояние между поперечными брусками, м;

E – модуль упругости сосновой доски вдоль волокон, Па;

Y_x – момент инерции площади доски, $м^4$.

Момент инерции площади сечения

$$Y_x = \frac{b \cdot S^3}{12}, \qquad (4.2)$$

где b – ширина доски

S – толщина доски.

Подставив значение Y_x в уравнение (4.1) получим

$$\delta_{дин} = \frac{P_{дин} \cdot l^3 \cdot 12}{48 \cdot E \cdot b \cdot S^3} = \frac{P_{дин} \cdot l^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3}. \qquad (4.3)$$

2. Расстояние между опорными брусками найдем из уравнения (4.3)

$$l = \left(\frac{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3 \cdot \delta}{P} \right)^{1/3} = S \cdot \left(\frac{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3 \cdot \delta}{P} \right)^{1/3},$$

$$l = 0{,}04 \cdot \left(\frac{4 \cdot 0{,}1 \cdot 10^5 \cdot 0{,}1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{80 \cdot 9{,}8} \right)^{1/3} = 0{,}99 \text{ м}.$$

3. Максимальное напряжение на изгиб определяется из выражения:

$$\sigma_{из} = \frac{M_x}{Y_x} \cdot y, \qquad (4.4)$$

где $\sigma_{из}$ – максимальное напряжение при изгибе доски, Па;

M_x – максимальный изгибающий момент относительно оси X, Н·м;

y – расстояние от центральной оси до наиболее удаленной точки по оси y, м.

$$y = \frac{S}{2} \qquad (4.5)$$

Изгибающий момент

$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{P \cdot l}{4}. \qquad (4.6)$$

Подставив выражение (4.5), (4.6) в (4.4) получим

$$\sigma_{из} = \frac{P \cdot l \cdot 12 \cdot S}{4 \cdot b \cdot S^3 \cdot 2} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot S^2}, \qquad (4.7)$$

$$\sigma_{из} = \frac{3 \cdot 784 \cdot 0{,}9}{2 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}04^2} = 7 \cdot 10^6 \text{ Па} = 7 \text{ МПа}$$

Напряжение на изгиб равно 7 МПа, что меньше допустимого 8 МПа.

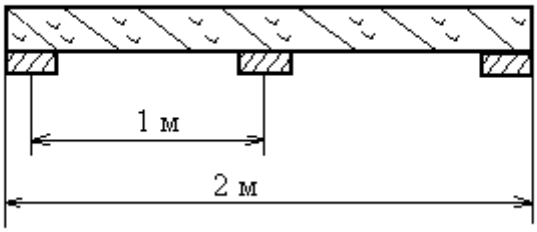


Рисунок 4.2 - Схема настила из сосновых досок с тремя поперечными опорными брусками

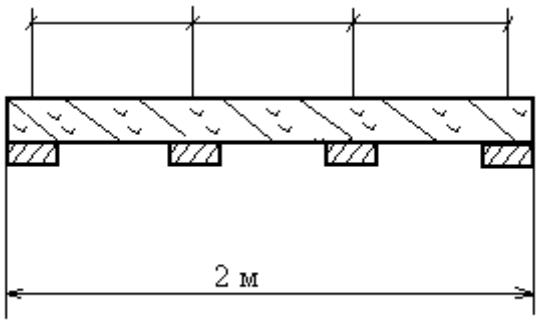


Рисунок 4.3 - Схема настила из сосновых досок с четырьмя поперечными опорными брусками

Схема может иметь вид, показанный на рисунке 4.2, однако лучше установить четыре поперечных опорных бруса (рисунок 4.3).

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1. Выполнить расчет необходимой толщины ограждений на прочность по выданному преподавателем варианту.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета предохранительной муфты на прочность.

4.2. Выполнить расчет необходимых размеров ограждений на прочность по варианту, выданному преподавателем.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, схему защитного ограждения, расчет параметров ограждения.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. От каких параметров ограждения зависит его прочность?

6.2. Что такое модуль упругости материала и единицы измерения?

6,3. Что характеризует допустимое напряжение на изгиб материала?

6.4. От каких факторов зависит разрушится или нет ограждение?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник/ С.В.Белов, А.Ф.Козъяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1989.-368 с.

2. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 1980.- 258 с.

3. Динамика удара: Пер. с англ./ Дж.А Зукас, Т.Николас, Х. Свифт и др. М.: Мир, 1985.- 296 с..

"Расчет элементов крепления экранов"

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: освоить методику расчета крепления ограждений и экранов на прочность.

Задачи работы: изучить методику расчета крепления ограждений и экранов на прочность, выполнить расчет крепления по выданному варианту.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Крепление ограждений и экранов производится при помощи болтов или сварки. Чаще применяется болтовое крепление.

Болт воспринимает нагрузку на срез резьбы и на срыв головки болта. Усилия на болт передаются по конструкции защитного ограждения по принципу рычага, поэтому очень важным является способ крепления и размеры экрана и опорных элементов.

2.1. Расчет элементов крепления экранов

Задача 1

Экран выполнен из листового алюминия толщиной 3 мм и прикреплен к станку при помощи двух болтов (рисунок 1). К верхней кромке экрана приложена сила P = 400 Н. Определить выдержит ли экран нагрузки на изгиб и выдержат ли болты диаметром 6 мм на вырыв, то есть определить коэффициент запаса $К_{экр}$ и $К_{болт}$.

Решение.

1. Максимальный изгибающий момент на экране будет в сечении, расположенном на расстоянии 200 мм от точки приложения усилия, то есть на верхней кромке станины:

$$M_{из} = P \cdot l = 400 \cdot 0.2 = 80\ H \cdot м.$$

2. Напряжение изгиба:

$$\sigma_{из} = \frac{M_x}{J_x} \cdot y = \frac{P \cdot l}{J_x} \cdot \frac{S}{2} = \frac{80 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}}{1.3 \cdot 10^{-9}} = 90 \cdot 10^6\ Па = 90\ МПа,$$

$$J_x = \frac{0.6 \cdot \left(3 \cdot 10^{-3}\right)^3}{12} = 1.3 \cdot 10^{-9},$$

$$y = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2} = 1.5 \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициент запаса:

$$K_з = \frac{150 \cdot 10^6}{90 \cdot 10^6} = 1.7.$$

3. Усилие на вырыв болтов T определяется из соотношения моментов.

$$P \cdot 200 = T \cdot 15,$$

$$T = \frac{P \cdot 200}{15} = \frac{400 \cdot 40}{3} = \frac{16000}{3} = 5300\ H.$$

Напряжение на срез резьбы болтов:

$$\sigma_{ср} = 0.58 \cdot \sigma_{раст} = 0.58 \cdot 350 \cdot 10^6 = 210\ МПа.$$

Усилие на вырыв болта:

$$T_{выр} = \sigma_{ср} \cdot \pi \cdot d_{бол} \cdot l \cdot K_{осл} = 210 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5 = \frac{19000}{2} = 9500\ H,$$

где $d_{бол}$ – диаметр болта, м,

l – длина закрученной в станину части болта, м.

Коэффициент запаса:

$$K_з = \frac{9500}{5300} = 1.8.$$

Усилие на растяжение:

$$T_{п\ рез} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_{раст.изг} = \frac{\pi \cdot \left(6 \cdot 10^{-3}\right)^2}{4} \cdot 350 \cdot 10^6 = 10500\ H.$$

Коэффициент запаса на вырыв головки болта.

$$K_з = \frac{10500}{5300} = 2.$$

3 ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

3.1. Выполнить расчет необходимой толщины болтов для крепления экрана по выданному преподавателем варианту.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику расчета крепления ограждений и экранов на прочность.

4.2. Выполнить расчет необходимых размеров болтов для крепления экрана. по варианту, выданному преподавателем.

5 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: название и цель работы, расчетную схему, расчет размеров болтов, для крепления экрана.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. От каких параметров болтов зависит ее прочность?

6.2. Что такое модуль упругости материала болтов и единицы измерения?

6,3. Что характеризует допустимое напряжение на изгиб и срез материала?

6.4. От каких факторов зависит разрушится или нет болт?

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник/ С.В.Белов, А.Ф.Козъяков, О.Ф.Партолин и др.; Под ред. С.В.Белова.- М.: Машиностроение, 1989.-368 с.

2. Динамика удара: Пер. с англ./ Дж.А Зукас, Т.Николас, Х. Свифт и др. М.: Мир, 1985.- 296 с..