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 ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

«Основы проектирования средств защиты»

основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
20.03.01 Техносферная безопасность

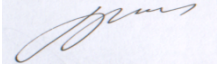
с направленностью (профилем)
Инженерная защита окружающей среды

Формы обучения: *очная, заочная*

Идентификационный номер образовательной программы: 200301-01-20

Тула 2020 год

Разработчик:

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

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание) *(подпись)*

2.2 Основы расчета воздуха, необходимого для вентиляции помещения с источниками выделения пыли и газов

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

$$L = \frac{G}{C_{в} - C_{пр}} , \qquad (2.8)$$

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

$$L = \frac{G}{ПДК} , \qquad (2.9)$$

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).

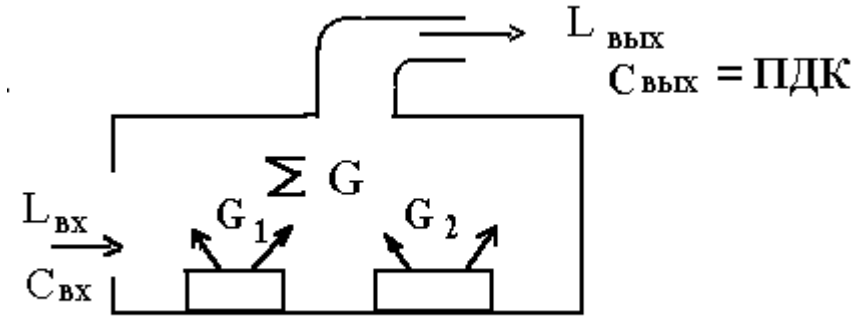


Рисунок 2.2 - Расчетная схема

3 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАКРЫТЫХ ПРИЕМНИКОВ И МЕСТНЫХ ОТСОСОВ

3.1 Основы проектирования местных отсосов

Рассмотрим задачи проектирования местных отсосов для наиболее вредного технологического процесса – сварочного производства.

При проведении сварочных работ для снижения концентрации вредных веществ на рабочих местах до предельно допустимой концентрации необходимо применять местные отсосы. В настоящее время широко применяются вытяжные панели (рисунок 3.1, 3.2).

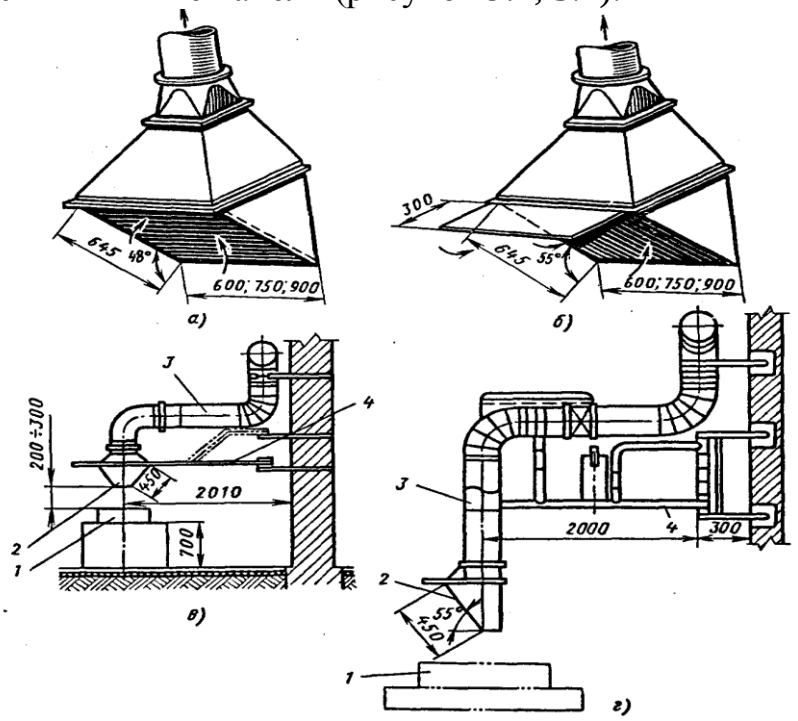


Рисунок 3.1 - Вытяжные панели:

а – панель А.С.Чернобережского; б – панель ГПИ «Сантехпроект»; в – двухсторонний поворотный воздухоприемник ЛИОТ-1; г – поворотно-подъемный воздухоприемник ЛИОТ-2: 1- свариваемое изделие; 2 –

воздухоприемная панель; 3 – воздухоотвод; 4 – поворотный кронштейн

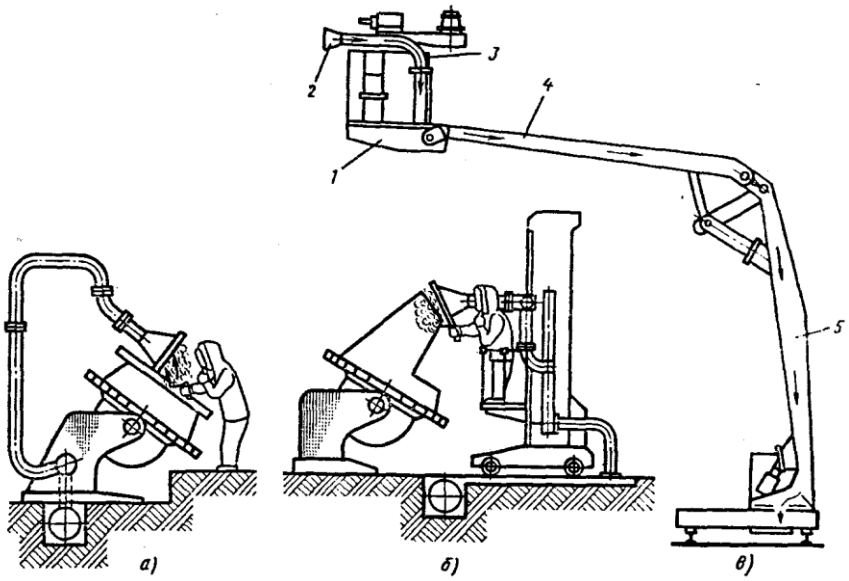


Рисунок 3.2 - Местные отсосы от механического сварочного оборудования:

а – для манипулятора; б – на площадке сварщика; в – подъемно-выдвижная площадка для сварщика; 1 – площадка; 2 – шарнирный воздухоприемник; 3 – вытяжной воздуховод; 4 – верхняя и нижняя стрела

Расход воздуха, удаляемого отсосами, определяют по формуле

$$L = 3600F_o\nu_o, \qquad (3.1)$$

где F_o - площадь всасывающего отверстия отсоса, м^2;

ν_o - скорость воздуха в этом отверстии, м/с.

Площадь отсоса F_o и его форму выбирают в зависемости от вида сварки или резки, используемого оборудования и т. д. Скорость ν находят, исходя из условий обеспечения заданной скорости воздуха ν_x в зоне сварки или резки на расстоянии x (м) от центра всасывающего отверстия.

При ручной сварке ν_x должна быть (м/с) не более 0,5; в углекислом газе- не более 0,5; в инертных газах - не более 0,3; при газовой и плазменнои резке титановых сплавов и нкзколегированных сталей -соответственно не менее 1 и 1,4; при плазменной резке алюминиево-магниевых сплавов и высоколегированных сталей - не менее 1,8, при плазменном напылении - не менее 1,3; при заточке торированных вольфрамовых электродов - не менее 1,3.

Для точечного стока, за который приближенно можно принять всасывающее отверстие малого диаметра по сравнению с расстоянием до него:

для сферического стока $\nu_x = L/4\pi x^2$;

для полусферического стока $\nu_x = L/2\pi x^2$.

Воздухоприемники должны быть максимально приближены к источ-нику вредных выделений, поскольку скорость движения воздуха при удалении от всасывающего отверстия падает обратно пропорционально квадрату

расстояний (примерно, так как реальные конструкции воздухоприемников не являются точечными стоками).

Для отсосов простейшей формы скорость ν определяют следующим образом: для круглых квадратных отверстий без экрана

$$\nu = 16\nu_x (x/d)^2; \qquad (3.2)$$

с экраном $$\nu = 8\nu_x (x/d)^2, \qquad (3.3)$$

где d - диаметр круглого отверстия или гидравлический диаметр для квадратного отверстия, м.

Для прямоугольного отверстия щелевидной формы шириной b

$$\nu = 6\nu_x x/b, \qquad (3.4)$$

Формулы (3.2) и (3.3) можно применять при x больше 0,5d, а (3.4) - при x меньше 0,5b. При более близком расположении отсосов к зоне сварки, а также при использовании отсосов сложной формы для определения скорости следует пользоваться графиками из справочников.

На рисунке 3.1 приведены спектры относительных скоростей всасывания (%) $\nu = 100\nu_x/\nu$. В этих случаях

$$\nu = 100\nu_x/\nu. \qquad (3.5)$$

Для щелевых и круглых отверстий, расположенных вблизи ограничивающих поверхностей, полученное по формуле (3.4) значение ν нужно разделить на коэффициент ψ

$$\nu = 100\nu_x / (\nu\ \psi). \qquad (3.6)$$

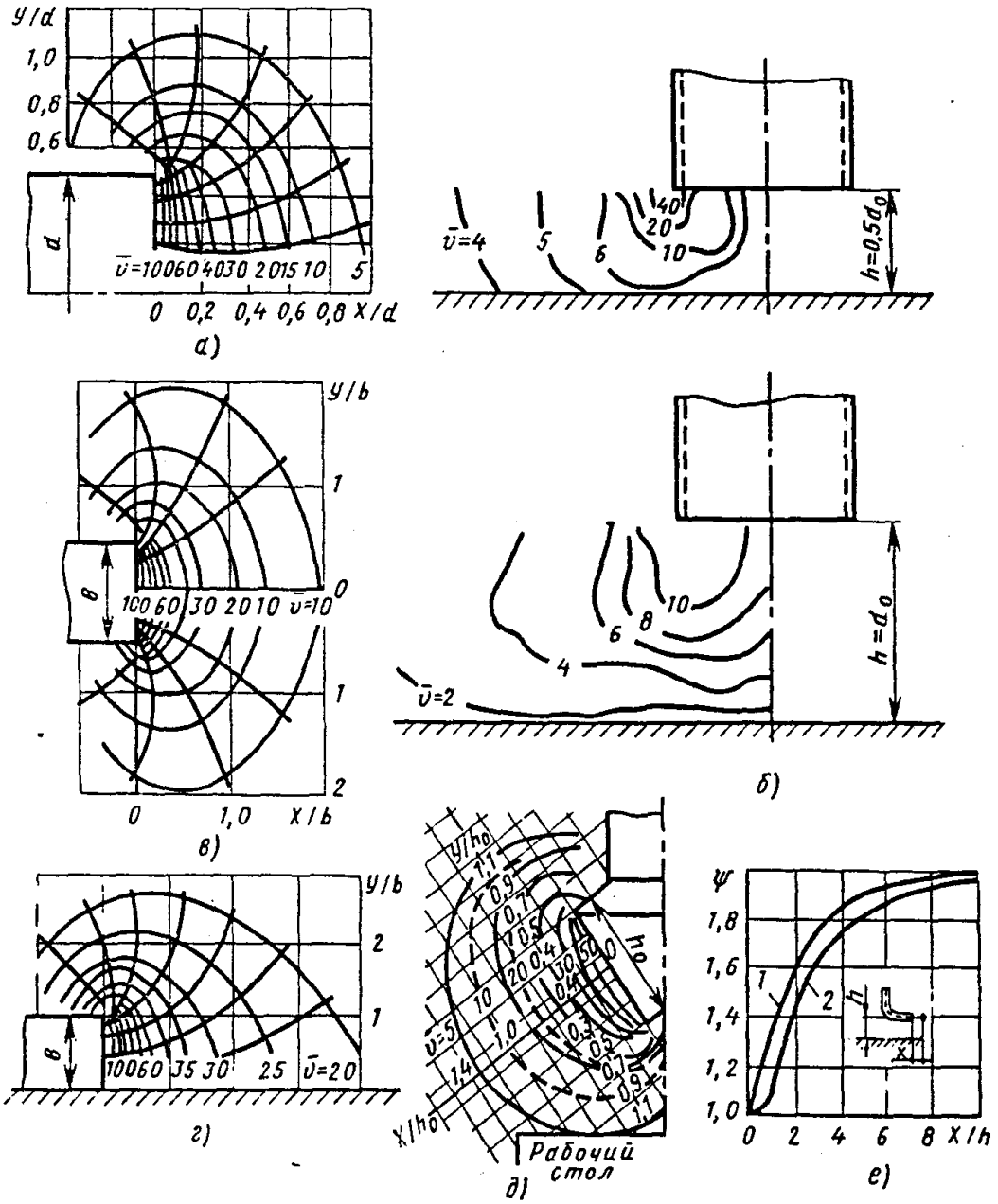


Рисунок 3.1 - Спектры относительных скоростей всасывания ν для:

а – круглого отверстия без экрана; б – кольцевого отверстия шириной $b_o=(0.05\div0.1)d_o$ при расположении экрана на расстоянии $h/d_o=0.5$; 1.0; в- прямоугольного щелевидного отверстия с соотношением сторон 1:10; г – то же, но лежащего на плоскости; д – наклонной панели (сплошные линии – панель без козырька, пунктирные – с козырьком); е – зависимость ψ от x/h (1 – щелевое отверстие; 2 – круглое отверстие).

4 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫТЯЖНЫХ ЗОНТОВ И БОРТОВЫХ ОТСОСОВ

Для удаления вредных веществ от места их образования и предотвращения распространения их в воздухе всего производственного помещения применяются вытяжные зонты. Вытяжные зонты наиболее эффективны для удаления вредных веществ, поднимающихся от источника образования (гальванические ванны, сварочные работы и т.п.).

Бортовые отсосы следует применять для удаления паров кислот и щелочей из ванн при травлении металлов и нанесении гальванических покрытий.

Проектирование вытяжных зонтов заключается в определении их размеров, расположения относительно источника распространения вредных веществ и расчета основных параметров вентилятора. Пример расчета основных параметров вытяжных зонтов рассмотрим на трех примерах.

Пример 4.1

Промывочная 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 (4.1) и l_2 по формуле (4.2) (l_1 и l_2 см. рисунок 4.1):

$$l_1 = \sqrt{\left(\frac{B-b}{2}\right)^2 + \left(H-h\right)^2}, \qquad (4.1)$$

$$l_2 = \sqrt{\left(\frac{A+a}{2}\right)^2 + \left(H-h\right)^2}, \qquad (4.2)$$

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

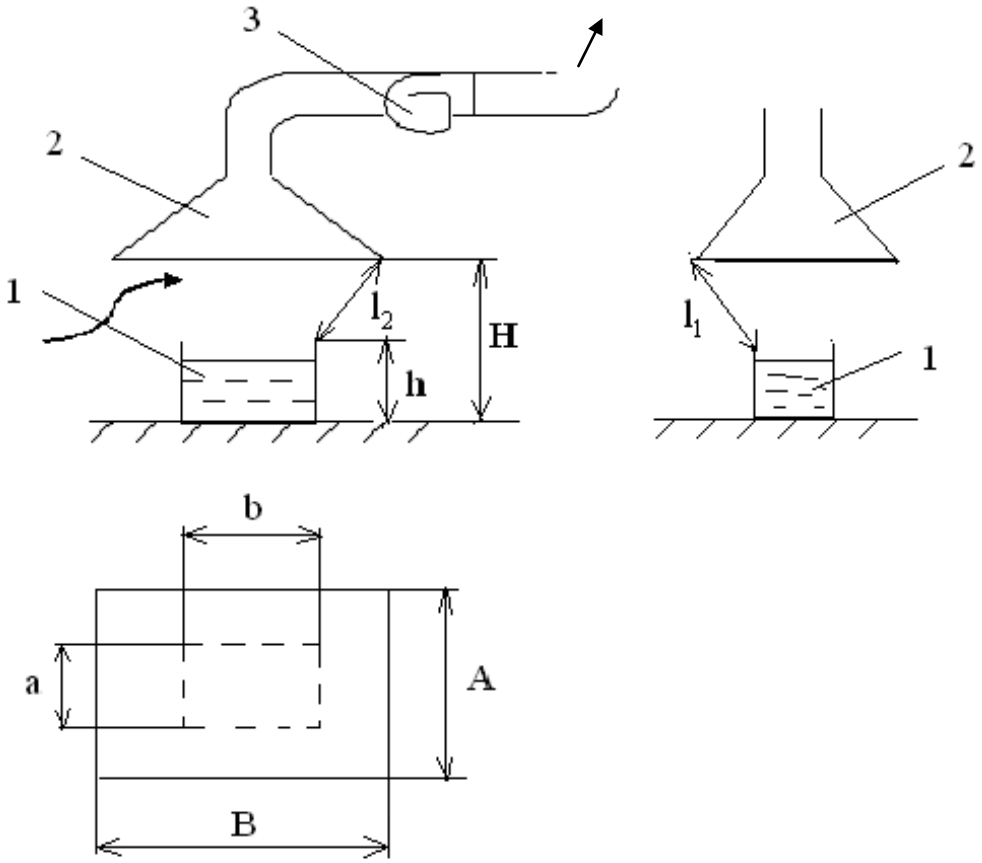
A, a – ширина вытяжного зонта и ванны, соответственно, м;

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

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

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

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



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

Рисунок 4.1 – Схема установки вытяжного зонта над гальванической ванной

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

$$F_{пр} = l_1\left(\frac{B+b}{2}\right)\cdot 2 + l_2\left(\frac{A+a}{2}\right)\cdot 2, \qquad (4.3)$$

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

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

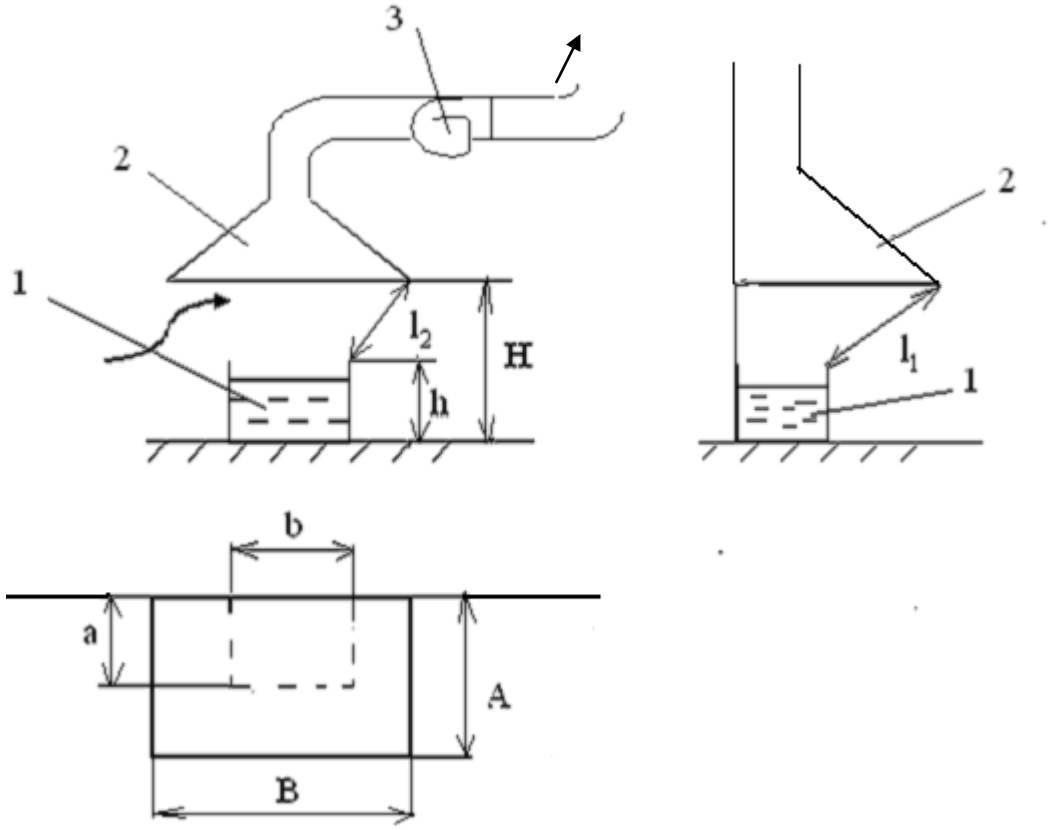
3. Определим количество воздуха, которое должен удалять вытяжной зонт, по формуле 1:

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

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

Задача 4.2

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 4.2). 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 4.2 – Схема местной вытяжной вентиляции

Решение:

1. Определим расстояния l_1 по формуле (4.3) и l_2 по формуле (4.5) (l_1 и l_2 см. рисунок 4.3):

$$l_2 = \sqrt{(A-a)^2 + (H-h)^2}, \qquad (4.4)$$

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:

$$F_{пр} = l_1\left(\frac{B+b}{2}\right)\cdot 1 + l_2\left(\frac{A+a}{2}\right)\cdot 2, \qquad (4.5)$$

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

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

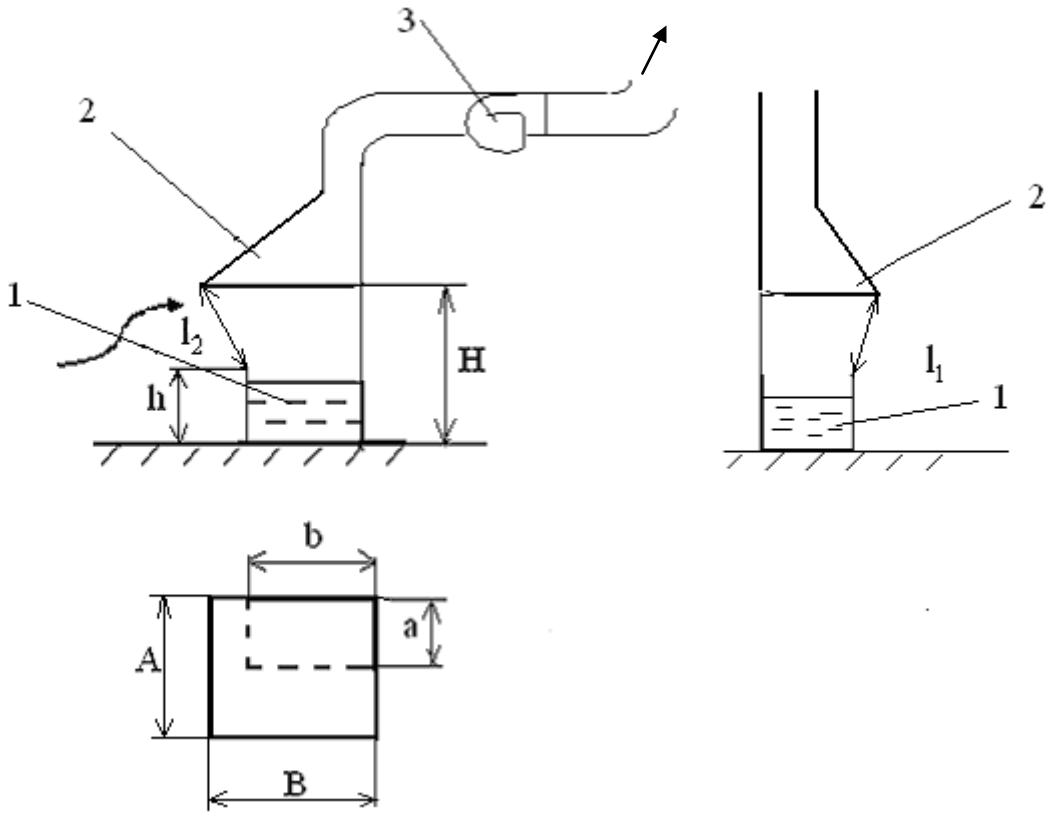
3. Определим количество воздуха, которое должен удалять вытяжной зонт по формуле 3.1:

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

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

Задача 4.3

Гальваническая ванна, установленная в углу помещения 10х20х6 м, имеет размеры а = 0,5 м, b = 1,0 м, высота ванны h = 0,8 м. Вытяжной зонт имеет размеры А = 0,8 м, В = 1,3 м, высота установки зонта Н = 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 4.3 – Схема местной вытяжной вентиляции

Решение:

1. Определим расстояния l_1 по формуле (4.6) и l_2 по формуле (4.4) (l_1 и l_2 см. рисунок 4.3):

$$l_1 = \sqrt{(B-b)^2 + (H-h)^2}, \qquad (4.6)$$

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

А, а – ширина вытяжного зонта и ванны, соответственно, м;

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

Н, 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:

$$F_{пр} = l_1\left(\frac{B+b}{2}\right)\cdot 1 + l_2\left(\frac{A+a}{2}\right)\cdot 1, \qquad (4.7)$$

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:

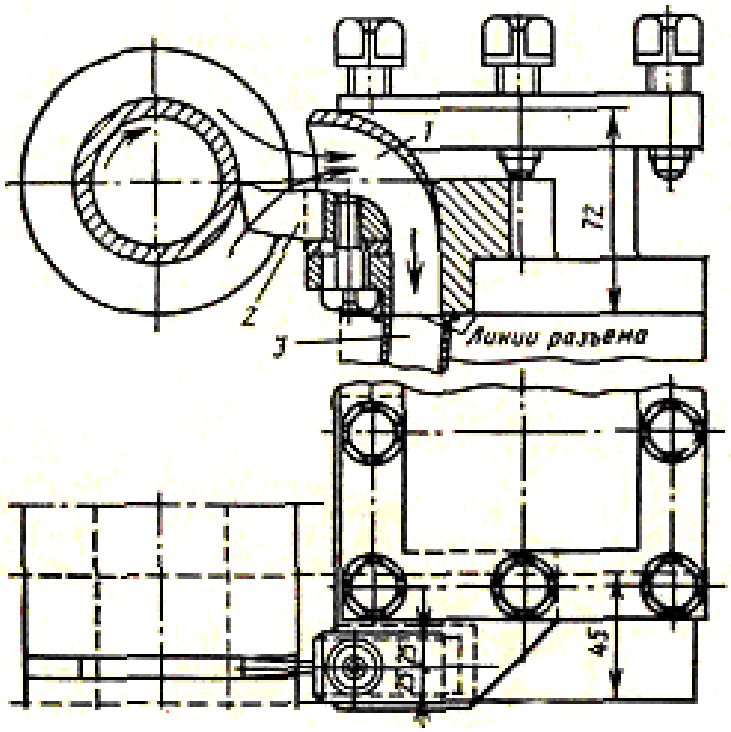
$$L = 2,57\cdot 0,5\cdot 3600 = 4630\ \text{м}^3/\text{ч}.$$

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

5 НЕПРЕРЫВНОЕ УДАЛЕНИЕ СТРУЖКИ И ПЫЛИ ИЗ ЗОНЫ ОБРАБОТКИ. ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ И СТРУЖКИ

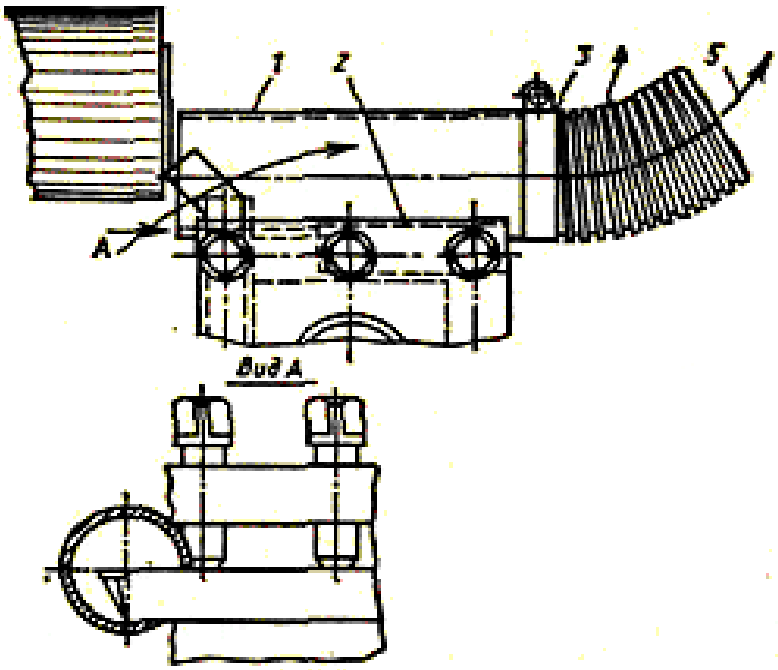
Пылестружкоприемники металлообрабатывающих станков располагают

навстречу потоку стружек и пыли на расстоянии от зоны резания не более половины ее высоты располагают 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 (рисунок 5.1 и 5.2) либо применяют пылестружкоприемники, совмещенные с режущим инструментом (рисунок 5.3).



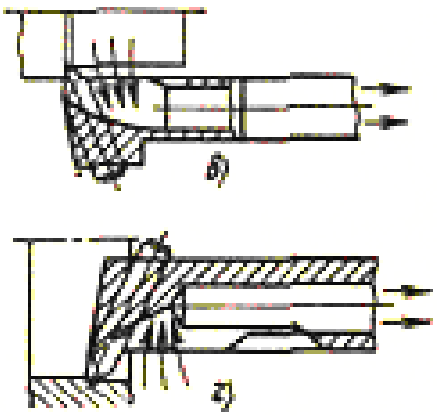
1 – пылестружкоприемник: 2 – резец, вытяжной патрубок

Рисунок 5.1 – Пылестружкоприемник ВЦНИИОТ для отдельных работ



1 – приемная труба диаметром 53 мм; 2 – державка; 3 – зажим гибкого рукава; 4 – гибкий рукав диаметром 50 мм; 5 – к всасывающему агрегату

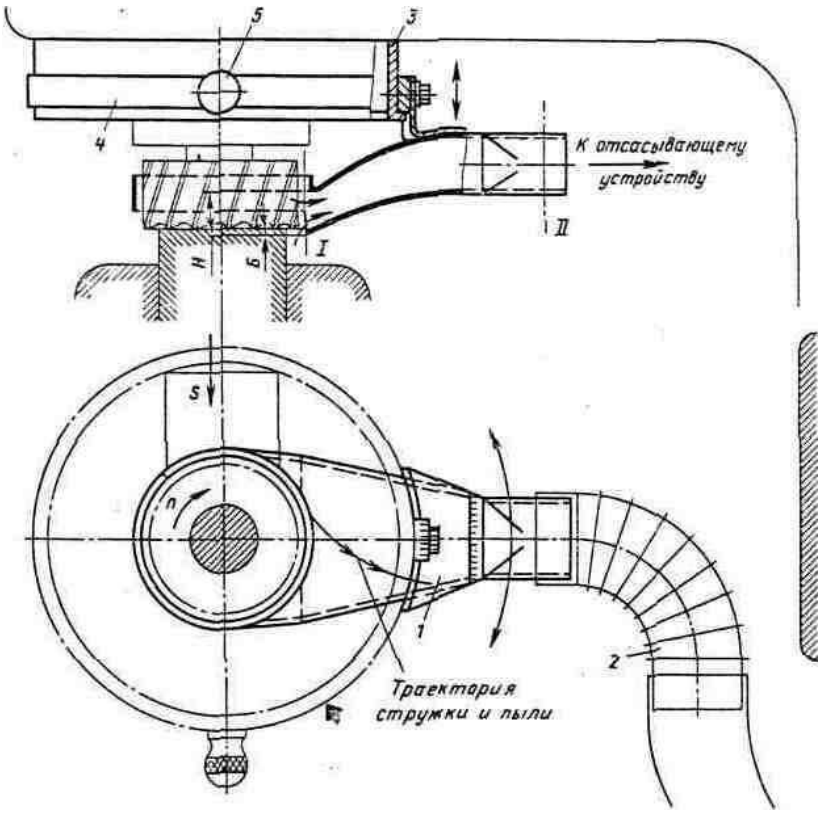
Рисунок 5.2 – Пневматический пылестружкоприемник ВЦНИИТОТ-10



а, б – пылестружкоприемник для расточных работ

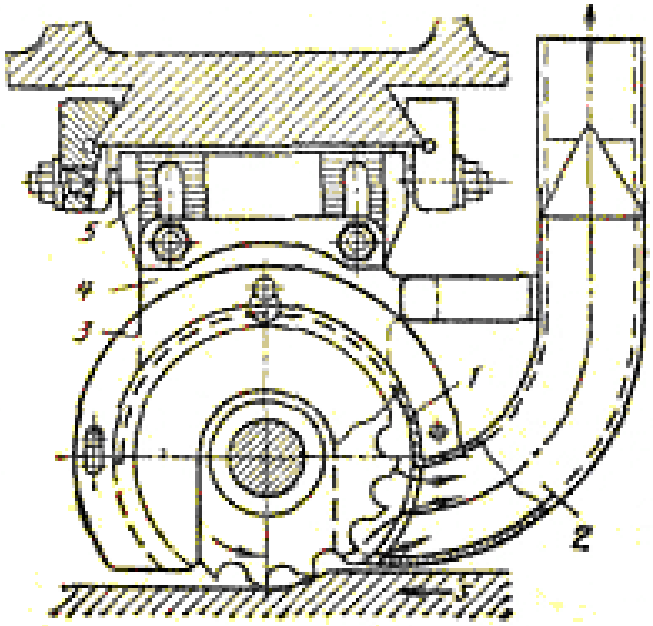
Рисунок 5.3 – Пылестружкоприемники, совмещенные с режущим инструментом

На рисунках 5.4 и 5.5 представлены конструкции пылестружкоприемников для фрезерных станков. Для станков среднего размера параметр Б должен выдерживаться в пределах 3-5 мм, Н=25…30 мм; площади сечения I и II воздуховода принимаются равными (см. рисунок 1.37). Скорость воздуха в проемах таких кожухов рекомендуется поддерживать равной 16…27 м/с.



1 – пневматический пылестружкоприемник; 2 – переходной патрубок; 3 – фланец; 4 – кольцо; 5 – стопорная рукоятка

Рисунок 5.4 – Пылестружкоприемник для вертикально-фрезерных станков



1 – корпус пылестружкоприемника; 2 – приемный патрубок; 3 – съемная крышка; 4 – подвеска; 5 – направляющая пластина

Рисунок 5.5 – Пылестружкоприемник для горизонтально-фрезерных станков

6 ЗАЩИТА ОТ ТЕПЛОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

6.1 Источники и виды тепловых излучений

Излучение может быть: ультрафиолетовое (УФ), видимое и инфракрасное (ИК).

УФ: $\lambda = 0{,}22\ldots0{,}28$ мкм $Q_{доп} = 0{,}001$ Вт/м^2
$\lambda = 0{,}28\ldots0{,}32$ мкм $Q_{доп} = 0{,}05$ Вт/м^2
$\lambda = 0{,}32\ldots0{,}4$ мкм $Q_{доп} = 10$ Вт/м^2

ИК: $\lambda = 0{,}76\ldots1{,}4$ мкм $Q_{доп} = 100$ Вт/м^2
$\lambda = 1{,}4\ldots3$ мкм $Q_{доп} = 120$ Вт/м^2
$\lambda = 3\ldots5$ мкм $Q_{доп} = 150$ Вт/м^2
$\lambda > 5$ мкм $Q_{доп} = 120$ Вт/м^2

ГОСТ 12.1.005 – 88: $Q_{доп} \leq 100$ Вт/м^2
$Q_{доп} \leq 70$ Вт/м^2
$Q_{доп} \leq 35$ Вт/м^2

Если интенсивность теплового излучения 350 Вт/м^2, то максимальная продолжительность облучения может быть 20 минут (однократно).

Если 1050 Вт/м^2 – 12 минут (однократно).

Если 2100 Вт/м^2 – не более 5 минут (однократно).

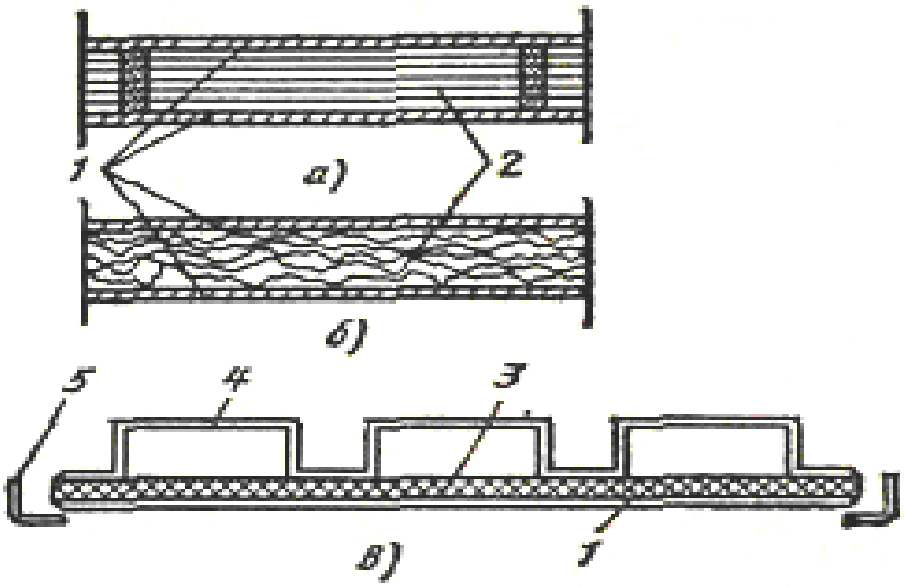
6.2 Выбор и расчет теплозащитных экранов

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 6.1). 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 6.1 – Конструктивные схемы непрозрачных теплозащитных экранов

Виды экранов: а – экран из альфоля (алюминиевая фольга), уложенного рядами в воздушных прослойках; б – экран из скомканного альфоля, уложенного в воздушных прослойках; в – комбинированный экран; 1 – стальные листы; 2 – алюминиевые листы (альфоль); 3 – теплоизоляция; 4 – профилированный лист (обычно алюминии); 5 – рамка.

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.

Пример.

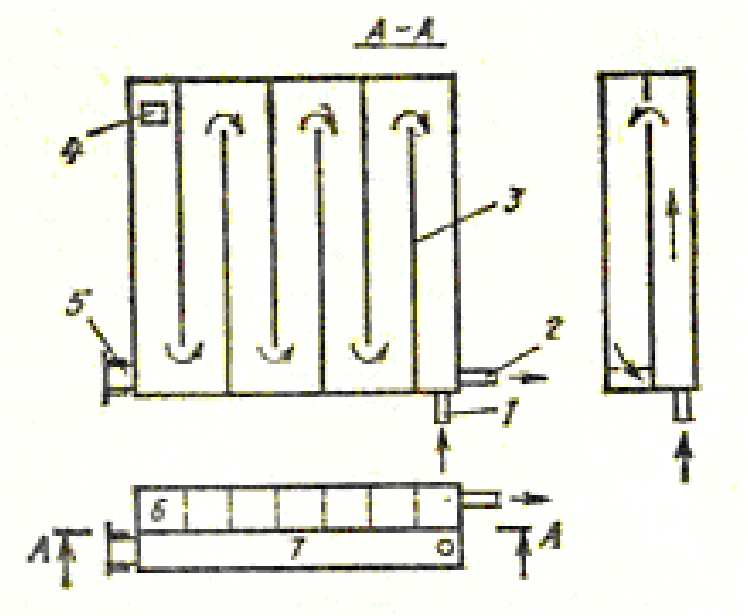
Эффективность экранов: белая жесть – 80 %, альфоль + асбест – 97 %.

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 6.2). 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 6.2 – 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.

Температура внутренней поверхности экрана определяется по формуле:

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

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;

$T_{н.п.}$ = 1200 °С = 1473 К

$T_в$ = 30 °С = 303 К.

Подставив значения в формулу (6.1) получим

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

6.3 Воздушное душирование

Применяется если тепловое излучение больше 350 Вт/м^2.

При душировании фиксированных рабочих мест наружным или охлажденным внутренним воздухом следует применять цилиндрические насадки или поворотные душирующие патрубки типа ППД (рисунок 6.3) с обработанным внутренним воздухом (аэраторы с неподвижной головкой малой производительности типа ВА, серия ОВ-02-134).

При душировании площадок, в пределах которых постоянно находятся рабочие, наружным или охлажденным воздухом следует применять патрубки с верхним подводом воздуха типа ПДв (рисунок 6.4).

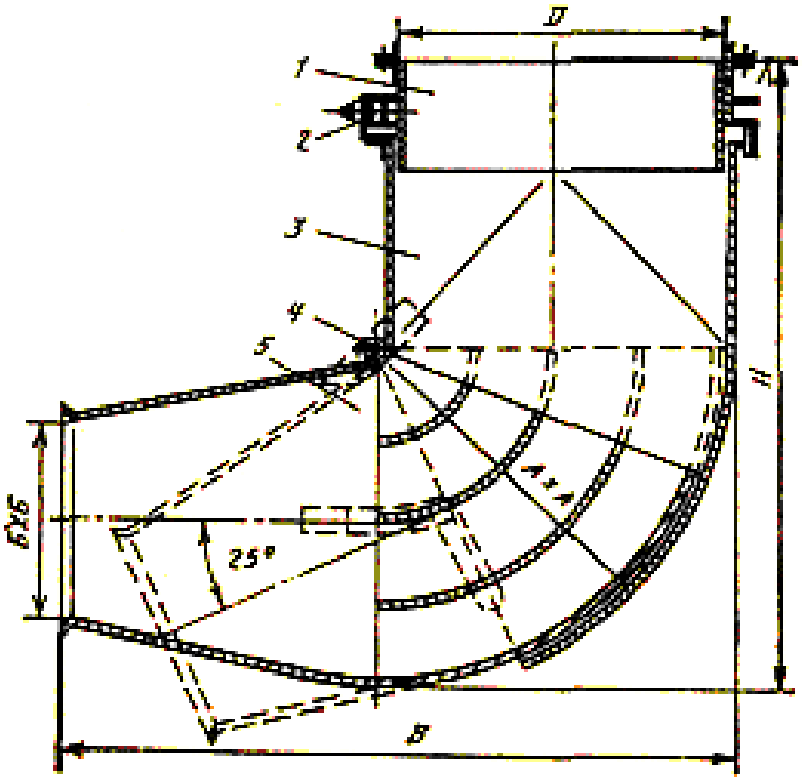
Все патрубки подают воздух под углом 45°, на грудь человека.

Воздушное душирование рассчитывается также как местный отсос. Скорость воздуха на выходе из панели 3,5 м/с.

$$L = F_{отв} \cdot V \cdot 3600,$$

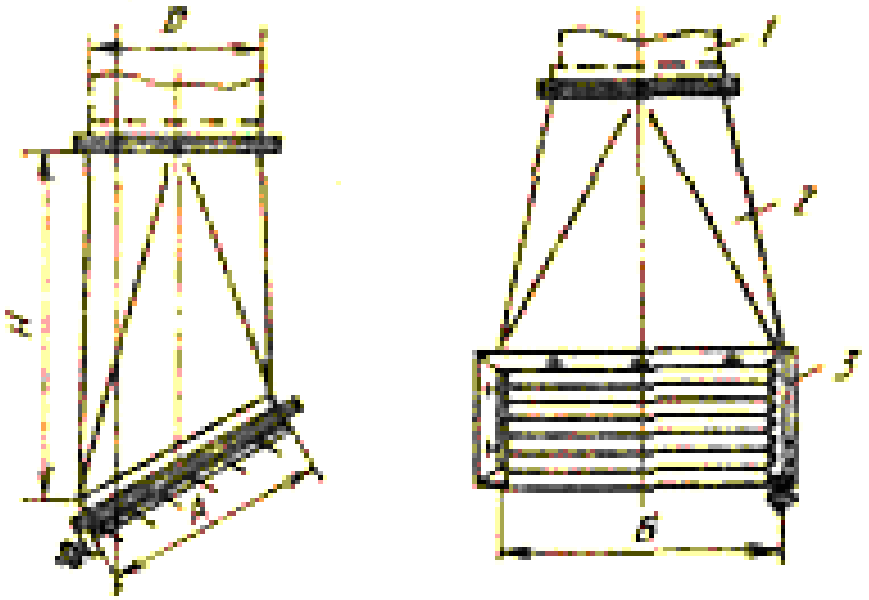
где $F_{отв}$ – площадь отверстий на панели.

Если несколько рабочих мест подвергается воздушному душированию, то общая производительность вентилятора рассчитывается как сумма притока (подачи) воздуха по каждому рабочему месту.



1 – верхнее звено; 2 – опорные ролики; 3 – среднее звено;
4 – шарнир; 5 – нижнее звено

Рисунок 6.3 – Душирующий патрубок поворотного типа ППД



1 – воздуховод; 2 – корпус; 3 – направляющая решетка

Рисунок 6.4 – Душирующий патрубок с верхним подводом воздуха типа ПДв: а – душирующий патрубок поворотного типа; б – душирующий патрубок с верхним подводом воздуха

7.4 Расчет 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 представлена методика расчета пружинных и резиновых виброизоляторов с учетом жесткости в трех направлениях (оси X, Y, Z).

Для расчета виброизоляторов необходимы следующие данные: *Kx, Ky, Kz* — жесткость виброизоляторов по осям *X, Y, Z* (Н/м); силовая нагрузка на виброизолятор, *H*.

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.

7.5 Расчёт резиновых виброизолаторов

Резиновые виброизоляторы обеспечивают вибройзоляцию 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:

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

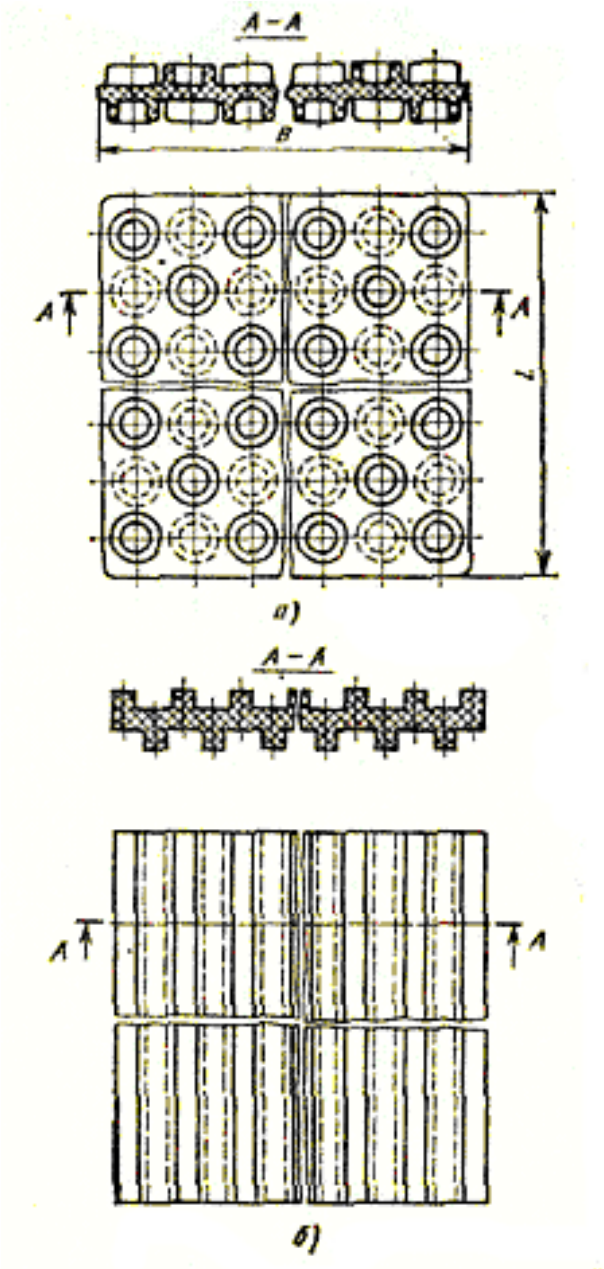
где *g=9,81 м/с2*

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 7.7.



а – типа КВ1; б – типа КВ2

Рисунок 7.6 – Конструкция и геометрические характеристики виброизоляторов

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

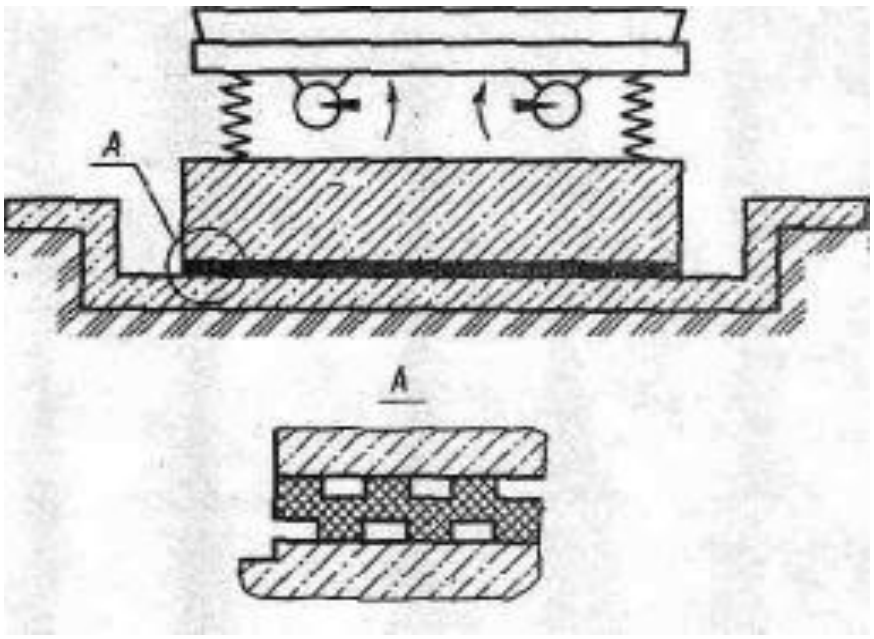


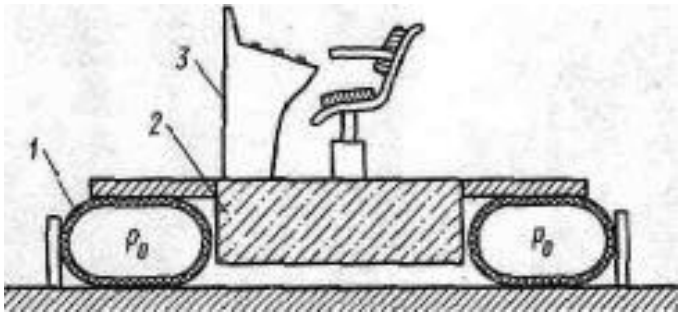
Рисунок 7.7 - Схема установки коврика КВ-2
под фундамент виброплощадки

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.

7.6 Виброизоляция поста управления

Виброизоляция может быть выполнена как с помощью стальных пружинных, резиновых, так и пневмоамортизаторов (рис. 10.6). Воздух в пневмоамортизаторе находится под давлением 3...20 кПа. Нагрузка на пневмоамортизатор, выполненный в виде автомобильной камеры, составляет 1000...4000 Н. Собственная частота виброизолированного поста в зависимости от нагрузки находится в пределах 2...4 Гц, что обеспечивает виброизоляцию с μ =1/150 при частоте вибрации 50 Гц. Для виброизоляции постов управления используют также вибродемпфирующие маты, склеенные из отдельных пластин губчатой резины толщиной 40...50 мм. при удельной нагрузке 2...40 кПа. В рабочем кресле оператора предусматривается виброизолированное сиденье с использованием гидравлического демпфера, обеспечивающего коэффициент затухания в пределах 0,2...0,3. В качестве виброизоляторов используют стальные, резиновые и комбинированные виброизоляторы, обеспечивающие частоты собственных колебаний 1,5...15 Гц. На рис. 10.7 показано виброизолированное сиденье конструкции ЛИИЖТ, собственная

частота которого не превышает 2 Гц, а снижение вибрации на частотах 16...63 Гц достигает 8 дБ.



/—пневмоамортизатор; 2—железобетонная плита; 3— пульт управления

Рисунок 7.8 - Виброизоляция поста управления:

Рисунок 7.9 - Виброизолированное сиденье с демпфером вязкого трения:
1— демпфер

Расчет виброизолированных рабочих мест операторов самоходных строительных машин выполняют по следующей методике.

Исходные данные: ω — угловая частота вынужденных колебаний машины:

$\omega = 2\pi f, c^{-1}$; m_c — масса подрессоренной части сиденья; m_0 — масса водителя.

Расчет ведут в такой последовательности: определяют часть массы водителя, приходящейся на сиденье, m_c = 0,7 m_0; рассчитывают массу подрессорной части сиденья $m_= m_c + m_ч$, определяют собственную частоту виброизолированной системы

$$\omega = \sqrt{K / M}$$

Находят значение относительного демпфирования

$$D = \xi / \left(2\sqrt{K / M}\right).$$

Определяют коэффициент передачи

$$T_z = \sqrt{\frac{1 + \left(2D\omega / \omega_0\right)^2}{1 - \left(\omega / \omega_0\right)^2 + \left(2D\omega / \omega_0\right)^2}}$$

где ξ — коэффициент сопротивления, Н-с/м.

Рассчитывают скорость колебания сиденья (м/с)

$$v = \frac{dz}{dt} = T_z\left(\frac{dy}{dt}\right)$$

Определяют ускорение колебаний сидения (м/с2)

$$\frac{d_z^2}{dt} = T_z\left(\frac{dy}{dt}\right)$$

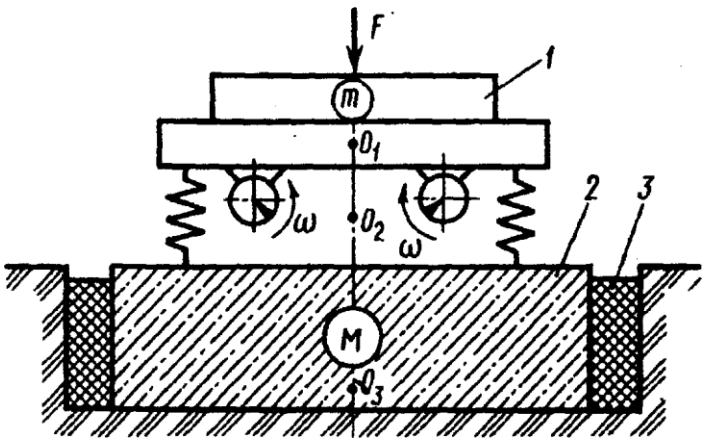
Рассчитывают логарифмический уровень виброскорости (дБ)

$$L = 20\lg\frac{v}{5*10^{-8}};$$

полученное значение L сравнивают с допустимыми по ГОСТ 12.1.012—90.

7.7 ВИБРОГАСЯЩИЕ ОСНОВАНИЯ

Уменьшить колебания, передаваемые на рабочие места и строительные конструкции, от динамически неуравновешенных машин (виброплощадок, дробилок, мельниц, вентиляторов, силовых установок и др.) возможно путем их установки на массивные виброгасящие основания (рис. 10.8). Конструктивно виброгасящие основания выполняют в виде железобетонной плиты, по периметру которой устраивают акустический шов, заполняемый легкими упругими материалами и предназначенный для устранения непосредственной передачи колебаний от фундамента к строительным конструкциям. Фундаменты под виброактивные машины должны удовлетворять условиям прочности и устойчивости, а интенсивность вибрации рабочих мест, размещенных на них, не должна превышать значений, установленных ГОСТ 12.1:012—90*.



/— виброплощадка; 2— основание (фундамент);

3—акустический шов

Рисунок 7.10 - Виброгасящее основание:

Расчет фундаментов под виброактивную машину заключается в проверке соответствия амплитуды вибросмещения колебаний требованиям норм.

Рассмотрим методику расчета фундамента под виброплощадку с вертикально направленными колебаниями, у которой центр тяжести O_1, центр жесткости площади подошвы O_3 и центр жесткости упругих опор O_2 фундамента находятся на вертикальной линии, совпадающей с линией действия возмущающих сил (см. рисунок 7.10).

Исходные данные: максимальная грузоподъемность 5000 кг; габаритные размеры 6269Х1780Х1020 мм; масса виброплощадки m =7420 кг; масса подвижных частей $m_{пч}$==6278 кг: вес подвижные частей $P_{пч}$= 62780 Н; мощность привода 28 кВт; частота вращения 50 Гц; максимальный кинетический момент дебалансов M_k=29,0 Н*м;

амплитуда виброперемещения стола 0,4 мм.

Фундамент устанавливают на суглинок средней пористости с допускаемым нормативным давлением p=300 кПа.

Виброплощадка двухвальная, нормативная возмущающая сила действует в вертикальном направлении. Виброизоляция выполнена в виде восьми цилиндрических стальных пружин.

Динамическую нагрузку, возбуждаемую дебалансными валами виброплощадки, определяют по заданному суммарному кинетическому моменту дебалансов Мк==2900 Н/см и частоте вибрирования f=50 Гц:

$$\omega = 2\pi f = 314^{-1};$$

$$N = \frac{M_k \omega^2}{g} = \frac{29.0 * 3.14^2}{9.8} = 291760 \text{ Н};$$

Предположим, что виброплощадка опирается на фундамент через стальные пружины — амортизаторы, дающие под действием массы подвижных

(подрессорных) частей установки статическую осадку $\lambda_{ст}$=0,5 см.

Суммарная жесткость всех амортизаторов

$$К == Р_{П.Ч} / \lambda_{ст} = 62\ 780/0{,}005 = 12556000\ Н/м.$$

рассчитаем собственную частоту вертикальных колебаний подрессорных частей виброплощадки:

$$\omega_0 = \sqrt{K / m_{пч}} = \sqrt{12556000 / 6278} = 44.7c^{-1}$$

$$f_0 = \omega / 2\pi = 7.12\ Гц.$$

Определим нормативную динамическую нагрузку, передающуюся на фундамент:

$$N_ф = \frac{N}{(\omega / \omega_0)^2 - 1} = \frac{291760}{\left(\frac{314}{44.7}\right)^2 - 1} = 6040H$$

Исходя из опыта проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками конструктивно выбираем площадь $F_ф$ и высоту фундамента. В первом приближении задается масса фундамента $m_ф$ примерно в два раза большей общей массы виброплощадки:

$$m_ф = 14000\ кг;$$

$$F_ф = 6{,}4 \bullet 1{,}8 == 11{,}5\ м^2 = 115200\ см^2$$

Принимаем в качестве грунта суглинок с допускаемым нормативным давлением *p=300* кПа. Определяем коэффициент упругог9 равномерного сжатия грунта C_z по методике СНиП 11-19—79 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками». Принимаем $C_z = 5\ кг/см^3$. Затем рассчитываем жесткость грунта

$$K_z = F_ф\ C_z = 115\ 200 * 5 = 576\ 000\ кг/см.$$

Определяем частоту собственных вертикальных колебаний фундамента и амплитуду виброперемещения фундамента Оф:

$$\omega_ф = \sqrt{\frac{K_z}{m_ф}} = \sqrt{\frac{576000}{14000}} = 6.4c^{-1}$$

$$f_ф = \frac{\omega}{2\pi} = 1.02Гц$$

$$a_ф = \frac{N_ф}{K_z(\omega / \omega)^2 - 1} = \frac{6040}{576000\left[(314 / 6.4)^2 - 1\right]} =$$

$$= 4{,}3 * 10^{-6} м = 0{,}0043мм$$

Амплитуду виброперемещения фундамента сравниваем с допускаемым значением для строительных конструкций. По ГОСТ 12.1.012—90 на частоте 50 Гц допускаемая амплитуда виброперемещения составляет 0,009 мм. В данном случае амплитуда виброперемещения фундамента не превышает установленной нормы.

Значительным источником вибрации являются различные насосы. Для снижения вибрации, передаваемой на основание, насос (рис. 10.9) устанавливают на железобетонной плите 2 толщиной 150...300 мм, которая опирается на основание с помощью виброизоляторов 1. Увеличение массы установки приводит к снижению частоты собственных колебаний и повышению эффективности виброизоляции. При такой системе виброзащиты применение массивного фундамента не является обязательным и насос может быть установлен на полу цеха. В трубопроводе, отходящем от насоса, необходимо устраивать гибкие вставки из гофрированной резины 5, а в местах прохода трубопровода через конструкции здания использовать подвесы 4 и резиновые прокладки 5. Эти меры позволяют значительно снизить передачу вибрации и структурного шума по трубам в смежные помещения. Повышение эффективности гибких вставок достигается путем применения фланцевой виброзадерживающей массы *М*, которая как бы отражает колебания в обратном направлении.

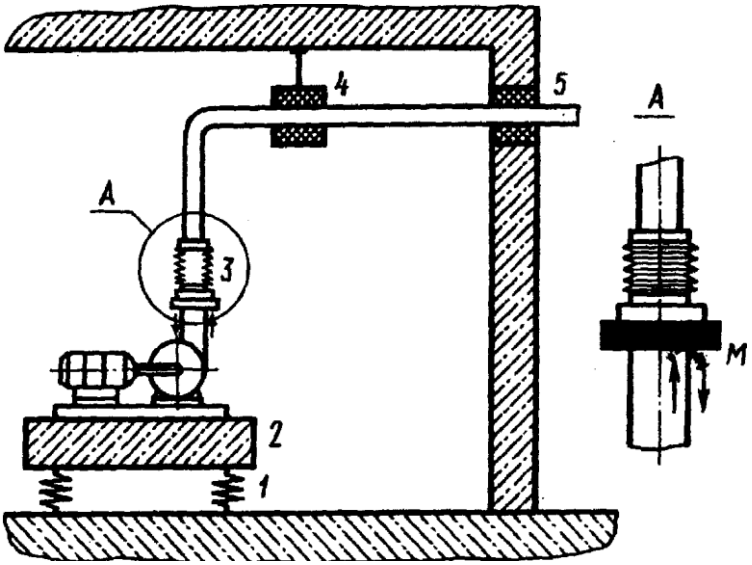


Рисунок 7.11 - Схема виброизоляции насосной установки

Использование виброизоляции практически не снижает шума в том помещении, где установлен источник вибрации, но имеет решающее значение для улучшения виброакустических условий труда в соседних помещениях.

7.8 ДИНАМИЧЕСКИЕ ГАСИТЕЛИ ВИБРАЦИИ

Для уменьшения колебаний механизмов применяют динамический поглотитель колебаний. работа которого сводится к следующему. Виброгаситель,

состоящий из массы m и упругого элемента жесткости K' присоединяется к механизму массой M и жесткостью K, колебания которого следует погасить (рис. 10.10). На массу M действует возмущающая сила, изменяющаяся по гармоническому закону $F_0 \sin \omega t$. Массу m и жесткость K' виброгасителя подбирают таким образом, чтобы частота собственных колебаний виброгасителя была равна частоте вынужденных колебаний машины: $\omega = \omega_0$. В этом случае в каждый момент времени сила F' от виброгасителя действует против силы F, возбуждаемой механизмом. В результате виброгаситель входит в резонансные колебания, а колебания механизма массой M уменьшаются.

Недостатком использования динамических гасителей вибрации является то, что каждый из них уменьшает вибрацию только на одной определенной частоте.

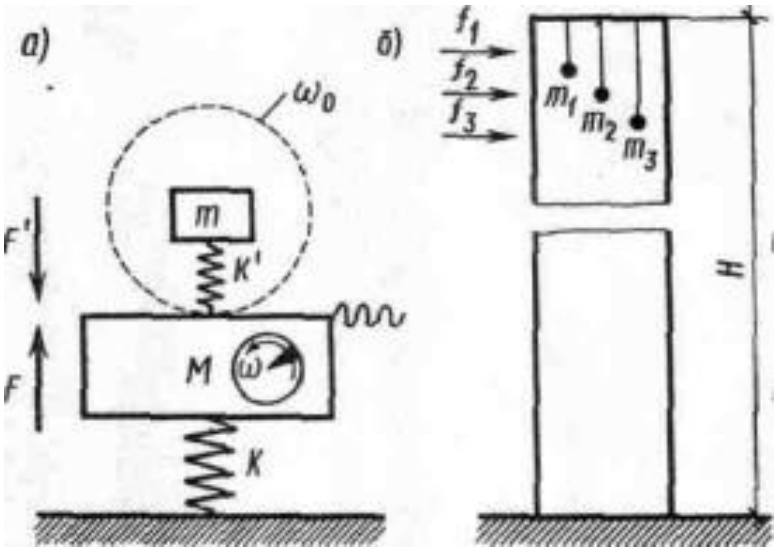


Рисунок 7.12 - Динамические гасители вибрации:

а — принципиальная схема гасителя; б — динамическое гашение колебаний дымовой трубы

Наиболее эффективно виброгасители могут быть использованы для уменьшения вибрации машин со стабильной частотой колебаний, например, турбогенераторов, насосов, силовых установок. Кроме того, виброгасители весьма эффективны для уменьшения колебаний высотных дымовых труб (300...400 м). Для уменьшения колебаний дымовых труб от ветровых нагрузок внутри трубы на тросах подвешивают грузы разной массы, которые и выполняют роль виброгасителей с различной частотой собственных колебаний.

Частоты собственных колебаний виброгасителей подбирают таким образом, чтобы они совпадали с частотами пульсации ветровых нагрузок. Высокие надежность и эффективность использования виброгасителей для дымовых труб подтверждены многолетним опытом эксплуатации.

7.9 ВИБРОПОГЛОЩЕНИЕ

Для уменьшения вибрации кожухов, ограждений и других деталей, выполненных из стального листа, применяют метод вибропоглощения (вибродемпфирования) .

Метод вибропоглощения заключается в нанесении на вибрирующую поверхность упруговязких материалов (резины, пластиков, вибропоглощаю-щих мастик), обладающих большим внутренним трением. Ослабление вибрации достигается за счет поглощения энергии колебаний в упругом материале. В результате энергия колебаний преобразуется в теплоту и существенно уменьшаются амплитуды колебаний, особенно на резонансных режимах.

Вибропоглощающие покрытия эффективны при условии, если протяженность поглощающего слоя равна нескольким длинам волн колебаний изгиба. При меньшей длине вибропоглощающе-го покрытия интенсивность изгибных колебаний уменьшается незначительно. Это обстоятельство необходимо принимать во внимание при использовании вибропоглощающих покрытий на конструкциях, имеющих низкую частоту вибрирования, когда длины волн достигают нескольких метров.

Вибропоглощение не эффективно для уменьшения интенсивности продольных волн, которые переносят большую колебательную энергию на высоких частотах. Снизить такие колебания возможно с помощью виброизолирующих разрывов между отдельными конструктивными частями машин. Разрывы заполняются материалом с волновым сопротивлением, отличным от сопротивления материала машин; резиновыми прокладками, слоем воздуха и т. д. Материал для вибропоглощающего покрытия и его размеры выбирают на основе данных о спектре вибраций. Вибропоглощающие покрытия наносят в местах максимальных амплитуд вибраций, которые определяют на основании исследования виброскорости в различных точках конструкции машины. Применением вибропоглощающих покрытий достигается также значительное снижение уровня производственного шума, особенно в области высоких частот спектра. Уменьшение уровня шума (дБ) при вибрации металлических поверхностей, облицованных вибропоглощающим покрытием, может быть приближенно рассчитано по формуле

$$\Delta L = 20\lg\left[\left(n_1 - n_2\right)/n_2\right],$$

где n_1 — коэффициент потерь вибропоглощающей поверхности до нанесения вибропоглощающего слоя; n_2 — коэффициент потерь при наличии вибропоглощающего слоя.

В зависимости от динамического модуля упругости вибропоглощающие покрытия подразделяют на жесткие ($E_Д=10^9$ *Па*) и мягкие ($E_Д=10^7$ *Па*). Жесткие покрытия эффективны для снижения колебаний низких и средних частот, мягкие применяются для уменьшения интенсивности высокочастотных

вибраций.

В качестве мягких покрытий применяют листовые материалы из пластмасс (винипор, пенопласт и др.), которые приклеивают к тонким металлическим поверхностям кожухов, ограждений, вентиляторных воздухопроводов. Для покрытия вибропоглощающими материалами поверхностей сложной конфигурации используют специальные мастики, состоящие из синтетических смол и наполнителей.

Высокой эффективностью обладают композиционные поглощающие материалы «Полиакрил», «Випонит», состоящие из слоев твердой пластмассы или металла с прослойками из полимерных материалов. Оптимальная толщина вибропоглощающего покрытия составляет 2...3 толщины покрываемой конструкции.

7.10 СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

В том случае, если техническими способами (виброизоляцией, виброгашением) не удается снизить вибрацию ручных машин и рабочих мест до гигиенических норм, применяют виброэащитные рукавицы и виброзащитную обувь. Требования, предъявляемые к упругим вставкам (прокладкам) виброзащитных рукавиц, эффективность виброзащиты, толщина упругих вставок, а также сила нажатия на ручную машину установлены в ГОСТ 12.4.002— 74 «Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования». Виброзащитные свойства применяемых упругих материалов нормируются в октавных полосах 8...2000 Гц и должны быть в пределах 1...5 дБ при толщине вставки 5 мм и 1...6 дБ при толщине вставки 10 мм. Сила нажатия при оценке виброзащитных свойств рукавиц варьируется от 50 до 200 Н.

Виброзащитные рукавицы не должны препятствовать выполнению рабочих операций, а используемые упругодемпфирующие материалы защищают тканью (фланелью, байкой) для предотвращения раздражения кожи и впитывания влаги. Виброзащитную обувь изготовляют из кожи (или искусственных заменителей) и снабжают стелькой из упруго- демпфирующего материала.

9. ЗАЩИТА ОТ УЛЬТРАЗВУКА. ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

9.1 Защита от ультразвука

ГОСТ 12.1.001 – 83

f = 12.5 кГц	Lp = 80 дБ
f = 16 кГц	Lp = 90 дБ
f = 20 кГц	Lp = 100 дБ
f = 25 кГц	Lp = 105 дБ

f > 25 кГц Lp = 110 дБ

Для защиты от ультразвука, распространяющегося по воздуху необходимо:

1) повышать номинальные рабочие частоты источников ультразвука и не применять частоты ниже 18 кГц;
2) оборудование излучающее ультразвук заключать в звукоизолирующие кожухи, выполненные из стального листа или дюралюминия толщиной 0,7 – 1 мм с облицовкой внутренней поверхности кожуха резиной или тонким (5 – 10 мм) слоем звукопоглощающего материала, эффект поглощения составит 50 – 70 дБ;
3) между работниками и оборудованием устанавливают экраны из прозрачного материала;
4) размещать ультразвуковое оборудование следует в специальных помещениях или кабинах, т. е. Применять дистанционное оборудование.

Для защиты от контактного действия ультразвука на руки используют резиновые перчатки, пористую резину и т. д.

Пример. Определить ожидаемый уровень звукового давления, требуемое снижение его в расчетной точке помещения, разработать мероприятия по его снижению для ультразвукового сварочного аппарата типа УЗАП-1, предназначенного для точечной сварки термопластичных материалов.

В качестве примера выбран сварочный аппарат, поскольку из всех видов ультразвукового технологического оборудования сварочные машины создают наиболее высокие уровни звукового давления в рабочей зоне.

Расчетная точка находится на расстоянии 1 м от аппарата (рис. 5.1).

Техническая характеристика сварочного аппарата УЗАП-1 [6].

1. Мощность магнитострикционного ультразвукового излучателя ПМС-15-2,5...3 кВт.

2. Рабочая частота - 20 кГц.

3. Амплитуда колебаний рабочего торца волновода-инструмента - 7 мкм.

Решение. Ожидаемый уровень звукового давления в расчетной точке определяется из выражения, взятого из [9, 18]

$$L = L_p - 10\ell g S,$$

где $L_p = 10\ell g \frac{P}{P_0}$ - уровень звуковой мощности излучения,

P - мощность излучаемого ультразвука, Вт;

$P_0 = 10^{-12}$ Вт – пороговое значение звукового давления;

$$S = 2\pi r^2,$$

r=1 м - расстояние от волновода-инструмента до расчетной точки. Мощность излучаемого ультразвука находим по формуле

$$P = \upsilon^2 \cdot S_u \cdot R,$$

где υ - эффективное значение колебательной скорости, величина

которой равняется [4].

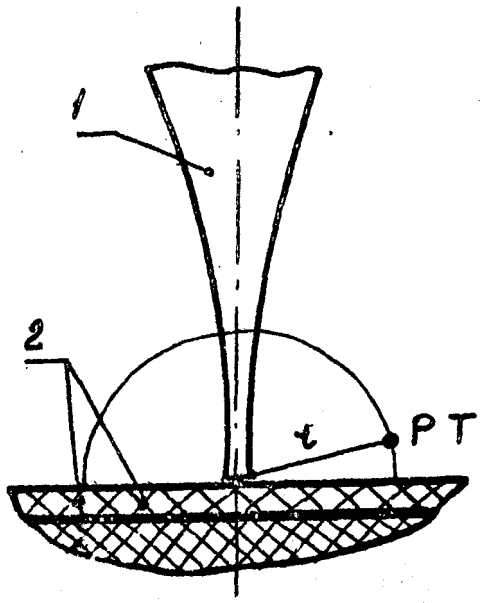


Рис. 5.1. Схема ультразвуковой сварки пластмасс: 1 – волновод-инструмент; 2 – свариваемые изделия; РТ – расчетная точка

$$\upsilon = \frac{\omega A}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f \cdot A}{\sqrt{2}},$$

f - частота ультразвуковых колебаний, 20000 Гц;

A - амплитуда колебаний торца волновода-инструмента, 7 мкм;

S_u - площадь излучающей поверхности торца волновода, $S_u = 10^{-4}$ м^2;

R - удельное акустическое сопротивление свариваемого материала (для оргстекла $R = 1{,}7 \cdot 10^6$ Н·с/м^3).

По формуле (5.3) находим величину колебательной скорости

$$\upsilon = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 20000 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{2}} = 0{,}628 \text{ м/с}.$$

Подставив известные величины в (5.2), получим, что излучаемая ультразвуковая мощность

$$P = 0{,}628^2 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}7 \cdot 10^6 = 68 \text{ Вт},$$

а уровень звуковой мощности –

$$L_p = 10\ell g \frac{68}{10^{-12}} = 138 \text{ дБ}.$$

Подставив значения l_p, и S в формулу (5.1), находим уровень звукового давления

$$L = 138 - 10\ell g\left(2 \cdot 3{,}14 \cdot 1^2\right) = 138 - 8 = 130 \text{ дБ}.$$

Согласно ГОСТу 12.1.001-75 допустимые уровни ультразвукового давления на рабочих местах, нормируемые в третьоктавных полосах частот, соответствуют следующим значениям.

Таблица 5.1

Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц	Уровни звукового давления, дБ
12500 16000 20000 и выше	75 85 110

По таблице допускаемый уровень звукового давления в производственном помещении составляет 110 дБ при длительности воздействия ультразвука в течение восьмичасового рабочего дня.

Сравнивая рассчитанное значение уровня ультразвукового давления L в расчетной точке с нормативным значением уровня звукового давления, определяем требуемое снижение уровня звукового давления

$$\Delta L_{тр} = L - L_{доп} = 130 - 110 = 20.$$

Для защиты работающих от непосредственного (прямого) воздействия ультразвука при эксплуатации сварочных машин рекомендуется применение экранов. В зависимости от условий технологии экраны могут быть подвижными и неподвижными [22].

На рис. 5.2 приведен график для подсчета снижения уровня звукового давления в точке, расположенной на расстоянии D от экрана высотой H . По горизонтальной оси графика отложена величина N, равная [10]

$$N = \frac{2}{\lambda}\left[R\left(\sqrt{1+\left(\frac{H}{R}\right)^2}-1\right)+D\left(\sqrt{1+\left(\frac{H}{D}\right)^2}-1\right)\right],$$

где λ - длина волны ультразвуковых колебаний (при f=20000 Гц λ= 0,017 м);

R - расстояние от источника звука до экрана (принимаем R=03 м);

H - высота экрана (H=0,3 м по конструктивным соображениям);

D - расстояние от источника звука до расчетной точки (D=1 м).

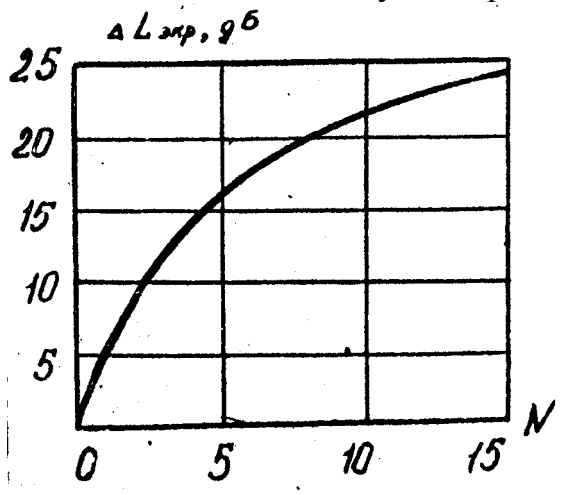


Рис. 5.2. Снижение уровня звукового давления в зависимости от высоты экрана и расстояния до него от источника звука

Подставив известные величины в формулу (5.5), находим величину

$$N = \frac{2}{0{,}017}\left[0{,}3\left(\sqrt{1+1}-1\right)+\left(\sqrt{1+\left(\frac{0{,}3}{1}\right)^2}-1\right)\right]=14{,}4.$$

По графику (рис. 5,2) определяем величину снижения уровня звукового давления в расчетной точке в результате установки экрана $\Delta L_{экр} = 23$ дБ. Таким образом, установка экрана между сварочным аппаратом я расчетной точкой приводит к необходимому снижению уровня звукового давления $\Delta L_{экр} > \Delta L_{тр}$.

Установки, при работе которых уровни ультразвукового давления значительно превышают предельно-допустимые, размешают в отдельных помещениях. При атом дополнительно необходимо применять меры по звукопоглощению.

Расчет и проектирование звукопоглощающих кожухов и ограждений, выбор конструкции звукопоглощающей облицовки и расчет снижения шума при ее установке достаточно подробно изложены в [9, 18, 22] .

В качестве индивидуальных средств защиты органов слуха используются внутренние и наружные антифоны конструкции ВЦНИИОТ.

11. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

11.1. Общие сведения об электромагнитных полях

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.

В зонах от источника излучения, имеющих радиус менее 1/6 длины волны, электромагнитная волна еще на сформирована, поэтому интенсивность ЭМП оценивается раздельно напряженностью электрической E (В/м) и магнитной H (А/м) составляющих 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).

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 11.1,а), состоящие из трансформатора, выпрямителя, генератора и индуктора. Для нагрева неметаллических материалов (например, древесины) вместо индукционной катушки используется конденсатор (рисунок 11.1,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:

$$H = \frac{\omega \cdot I \cdot R_{инд}^2}{4 \cdot r^2} \beta, \qquad (11.2)$$

где Н - напряженность магнитной составляющей ЭМП на расстоянии r от установки, А/м;

ω - число витков катушки (индуктора);

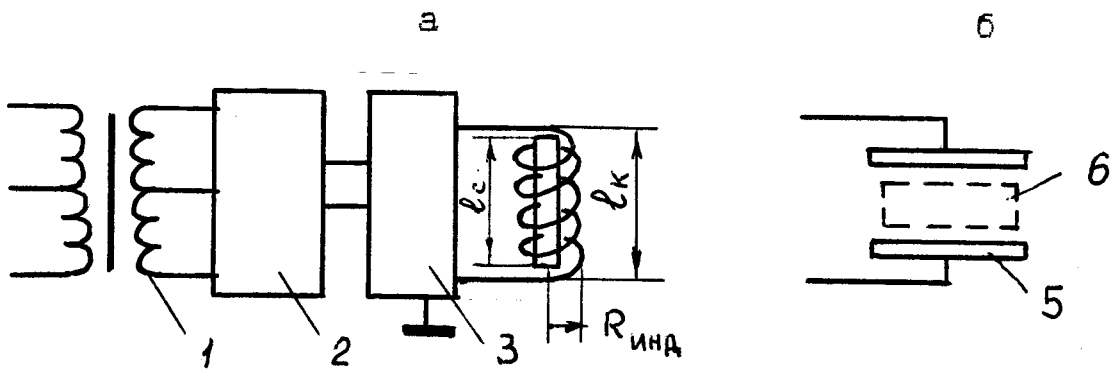
I - сила тока в катушке, А;

$R_{инд}$ - 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 β = 1);

$l_к$ - высота (длина) катушки индуктора, м.



1 - трансформатор; 2 - выпрямитель; 3 - генератор; 4 - индуктор; 5 - конденсатор; 6 – изделие

Рисунок 11.1 - Схема генератора для нагрева металла (а) и нагрева неметаллических материалов (б)

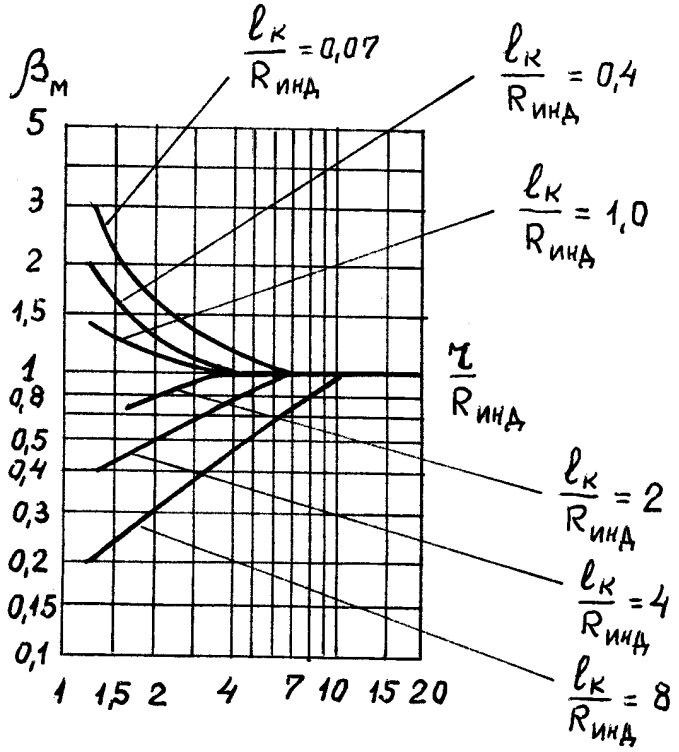


Рисунок 11.2 – Графики для определения коэффициента β

Напряженность электрической составляющей ЭМП от конденсатора можно рассчитать по формуле:

$$E = \frac{U \cdot S \cdot k}{2\pi \cdot d \cdot r^2}, \qquad (11.3)$$

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.

11.2 Нормирование воздействия ЭМП высокой частоты

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:

$$Э_E = E^2 \cdot T, \qquad (11.4)$$

$$Э_H = H^2 \cdot T, \qquad (11.5)$$

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:

$$E_{ПД} = \sqrt{\frac{Э_{E_{ПД}}}{T}}, \qquad (11.6)$$

$$H_{ПД} = \sqrt{\frac{Э_{H_{ПД}}}{T}}, \qquad (11.7)$$

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 11.2 - 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

$E_{пд}$, В/м	500	300	80
$H_{пд}$, 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

$$\frac{Э_E}{Э_{E_{ПД}}} + \frac{Э_H}{Э_{H_{ПД}}} \le 1. \qquad (11.8)$$

Пример. При частоте ЭМП 100 кГц измеренное значение напряженности электрического поля E = 50 В/м, время воздействия 8 ч. Энергетическая нагрузка

$$Э_E = E^2 \cdot T = 50^2 \cdot 8 = 20\,000\ (В/м)^2 \cdot ч,$$

т.е. при E = 50 В/м допускается в течение рабочего дня нахождение людей без средств защиты.

Пример. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность магнитного поля H =50А/м. Возможное время нахождения людей в этой зоне без средств защиты

$$T = \frac{Э_{H_{ПД}}}{H^2} = \frac{200}{50^2} = 0{,}08ч = 4{,}8мин$$

т.е. время меньше 5 мин. Поэтому $H_{пд}$ = 50 А/м, и если H будет выше $H_{пд}$, то запрещается даже кратковременное пребывание людей в этой зоне без средств защиты.

Пример. При частоте ЭМП 100 кГц напряженность электрической составляющей поля E = 50 В/м и напряженность магнитной составляющей поля H = 5 А/м. Энергетическая нагрузка при времени работы 4 ч:

$$Э_E = 50^2 \cdot 4 = 10\,000\ (В/м)^2 \cdot ч,$$

$$Э_H = 5^2 \cdot 4 = 100\ (А/м)^2 \cdot ч,$$

условие

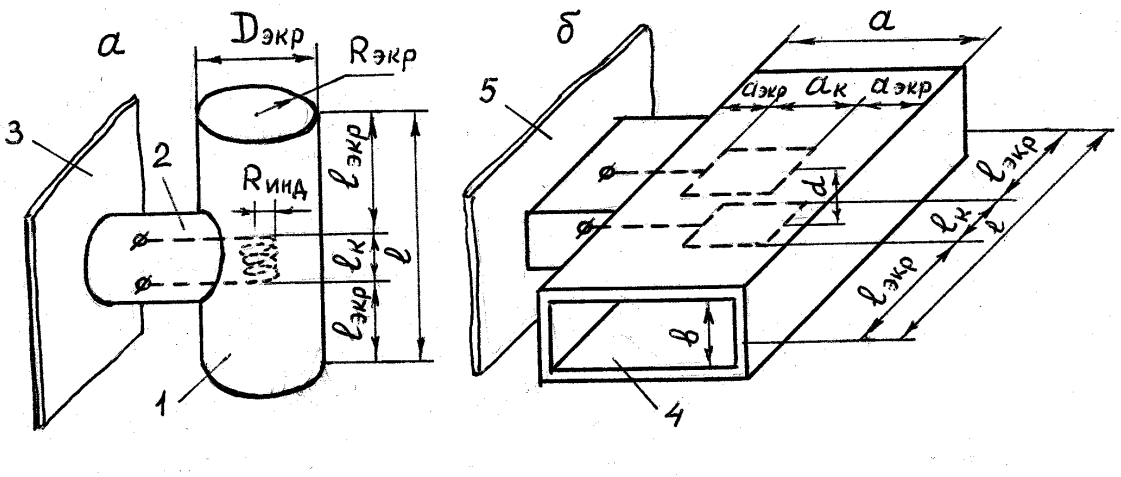
$$\frac{Э_E}{Э_{E_{ПД}}} + \frac{Э_H}{Э_{H_{ПД}}} = \frac{10000}{20000} + \frac{100}{200} = 1,$$

т.е. допускается работа в течение 4 ч без средств защиты.

11.3 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 11.3).

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.



1 - цилиндрический экран; 2 - патрубок; 3 - кожух-экран установки;

4 - коробчатый экран; 5 - экран установки

Рисунок 11.3 - Экранирование индуктора (а) и конденсатора (б)

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 11.3, 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 $l_{экр}$.

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.

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 11.3, б).

Эффект защиты от электромагнитных полей при диэлектрическом нагреве будет значителен, если применить педальное включение конденсатора или конвейерную подачу обрабатываемых заготовок в зону нагрева.

12. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ СВЧ

12.1 Общие сведения об электромагнитных полях СВЧ

Источниками ЭМП сверхвысоких частот (СВЧ) являются радиотехнические и электронные устройства, применяемые для радиосвязи, радиолокации и радиотелеметрии (генераторы сверхвысоких частот, открытые концы волноводов, антенны).

Наименование диапазона	Частота колебаний	Длина волны
Сверхвысокие частоты (СВЧ)	300 МГц...300 ГГц	1 м... 1 мм

Рабочие места по обслуживанию СВЧ-аппаратуры находятся в дальней зоне, расположенной на расстоянии более 1/6 длины волны от источника. В этой зоне воздействия 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.

Обычно электромагнитное поле от источника распределяется во все стороны равномерно. В этом случае плотность потока энергии рассчитывается

по формуле:

$$П = \frac{P_{инд}}{4\pi \cdot r^2}, \qquad (12.1)$$

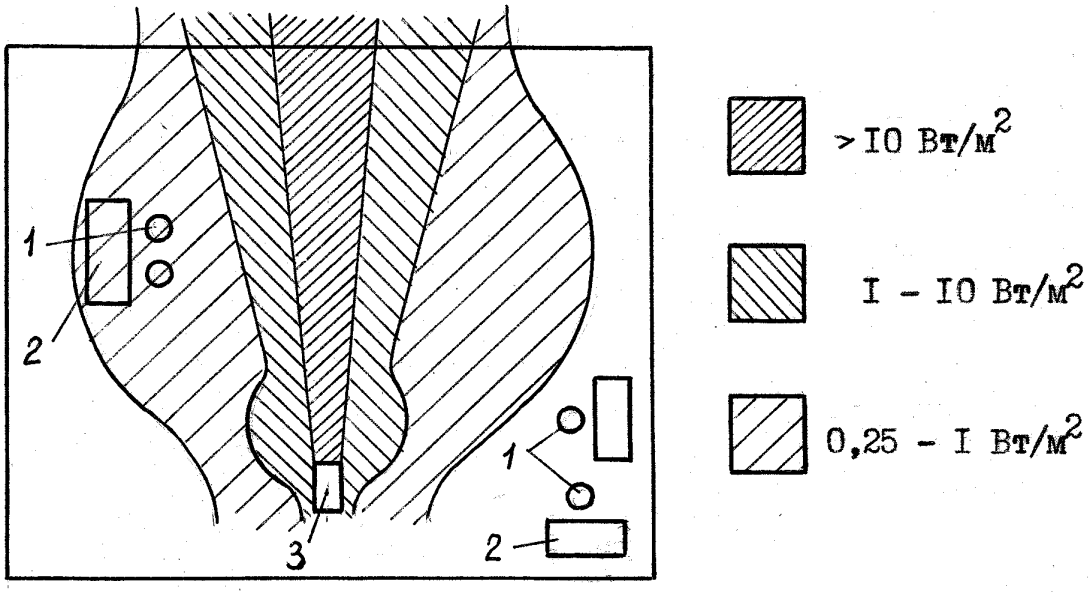
где П - плотность потока энергии ЭМП, Вт/м^2;
$P_и$ - мощность излучения от источника, Вт;
r - расстояние до источника излучения, м.

Если излучение имеет направленный характер, тогда формула принимает вид

$$П = \frac{P_{инд} к_Н}{4\pi \cdot r^2}, \qquad (12.2)$$

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 12.1).



1 - рабочее место; 2 - стол (стенд); 3 – РЛС

Рисунок 12.1 – Зоны излучения РЛС в помещении

12.2. Нормирование воздействия ЭМП сверхвысокой частоты

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):

$$Т_{ПД} = \frac{Э_{ПД}}{П} \text{ при } П \le 10 \text{ Вт/м}^2, \qquad (12.3)$$

$$П_{ПД} = \frac{Э_{ПД}}{Т} \text{ при } П_{ПД} \le 10 \text{ Вт/м}^2, \qquad (12.4)$$

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

$$Э = П \cdot Т . \qquad (12.5)$$

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.

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 (12.5)

$$Т_{ПД} = \frac{Э_{ПД}}{П} = \frac{20}{4} = 5 \text{ ч.}$$

т.е. допустимое время $Т_{пд}$ не более 5 ч.

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.

12.3 Защита от воздействия ЭМП

Для уменьшения воздействия ЭМП 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 (12.1) или (12.2), 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 12.2).

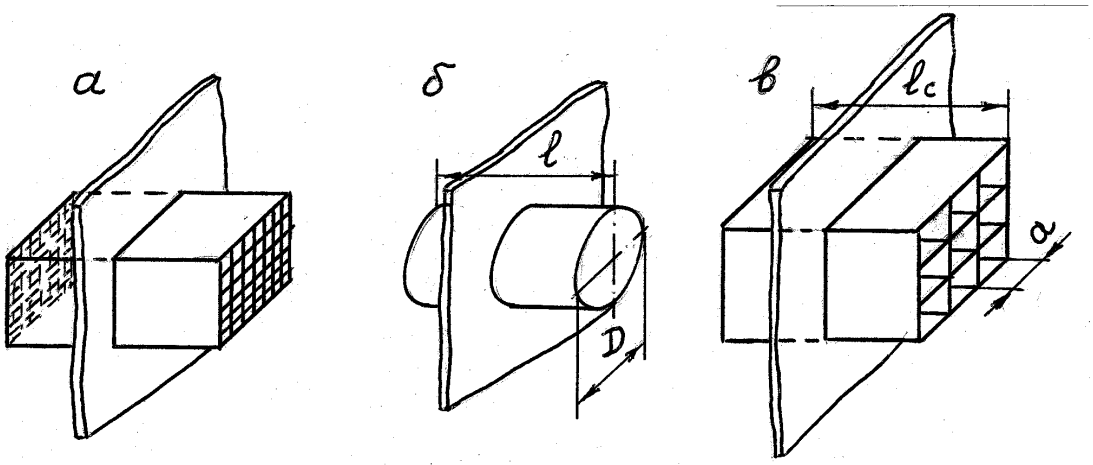
Лесонасождения, расположенные в непосредственной близости от источников излучения, ослабляют ЭМП на 3...10 дБ.

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 12.2 – Конструкции вентиляционных и смотровых отверстий и экранов

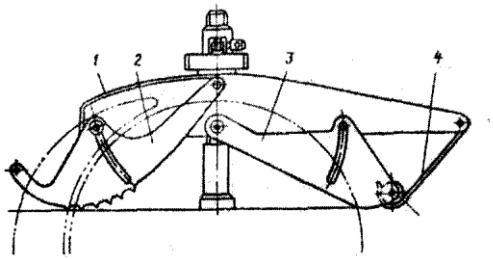
Таблица 12.1 – Ослабление электромагнитных излучений СВЧ строительными конструкциями

Материал и элементы конструкции	Ослабление потока энергии	
	λ = 3 см	λ = 10 см
Кирпичная стена толщиной 70 см	21	16
Междуэтажное перекрытие	22	20
Оштукатуренная стена здания	12	8
Окна с двойными рамами	13	7

14.ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОГРАЖДЕНИЙ ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ. ЗАЩИТА ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК

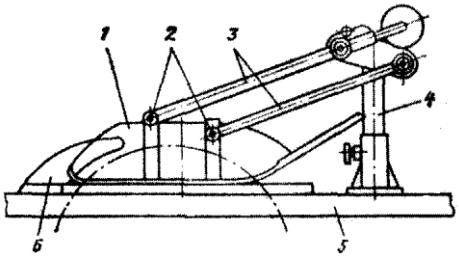
14.1. Ограждения для деревообрабатывающих станков

Рабочая часть режущих инструментов (пил, фрез, ножевых головок) должна закрываться автоматически действующим ограждением (рисунок 22.1 - 22.2), открывающимся во время прохождения обрабатываемого материала или инструмента только для его пропуска на величину, соответствующую габаритам обрабатываемого материала по высоте и ширине.



1 – кожух; 2 - задний сектор; 3 - передний сектор;
4 - подъемный рычаг; 5 - набегающий ролик

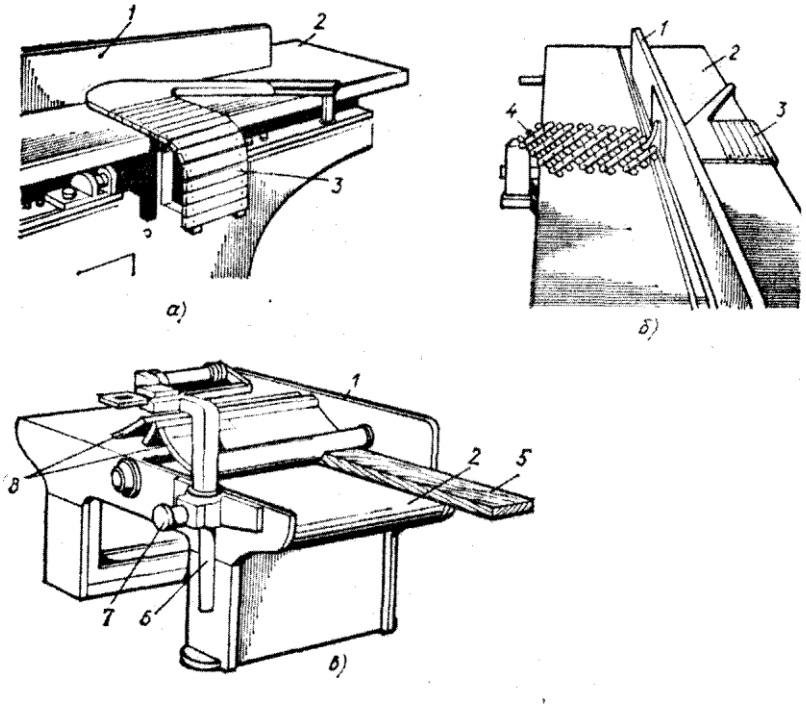
Рисунок 14.1 - Оградительное устройство пилы круглопильного станка для продольной распиловки



1 - кожух; 2 - шарниры; 3 - рычаги; 4 - стойка; 5 - стол станка; 6 - расклинивающий нож

Рисунок 14.2 - Оградительное устройство пильного диска круглопильного станка

Неподвижные ограждения допускается применять в тех случаях, когда они исключают возможность соприкосновения станочника с приведенным в действие режущим инструментом.



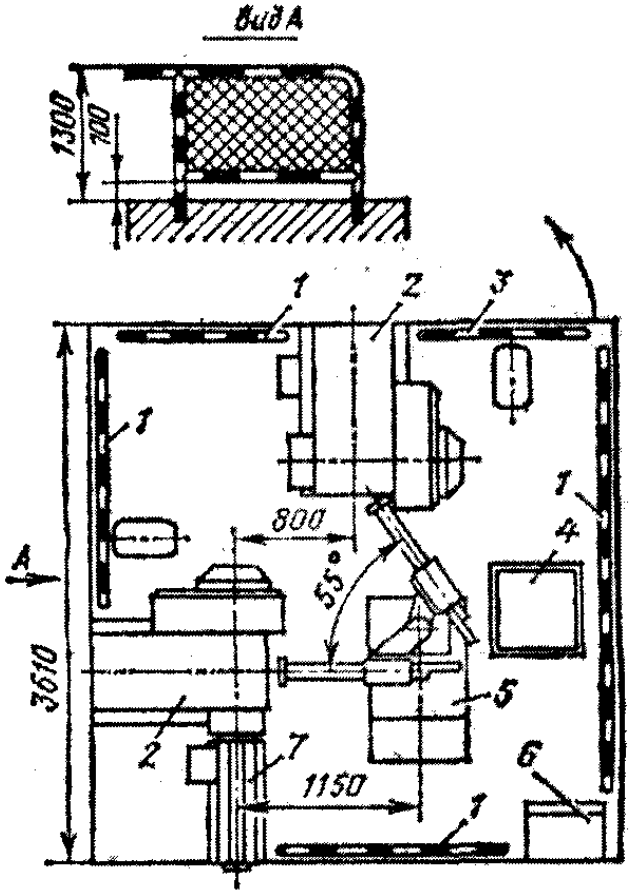
1 - направляющая линейка; 2 - стол; 3 - веерное ограждение рабочей щели; 4 - ограждение нерабочей щели; 5 - обрабатываемый материал; 6 - стойка; 7 - фиксатор; 8 - ограждающие щиты

Рисунок 14.3 - Ограждения щели стола фуговального станка
а - веерное ограждение рабочей щели стола; б - пластинчатое ограждение нерабочей щели стола; в - щитовое ограждение рабочей щели

14.2 Выбор ограждений конвейеров и роботизированных комплексов

Движущиеся части конвейеров, к которым возможен доступ обслуживающего персонала и лиц, работающих вблизи конвейеров, должны быть ограждены.

Как правило, ограждение выполняется высотой не менее 1,5 м из металлической сетки с размером ячейки не более 0,1 м. Сетка окрашивается сигнальными цветами (чередующиеся полосы черного и желтого цвета). Расположение ограждения участка с применением промышленного робота и элементы его конструкции показаны на рисунке 14.4.



1 - ограждение роботизированного участка; 2 - пресс;
3 - вход с блокировкой; 4 - тара; 5 - робот;
6 - управляющее устройство; 7 - шиберная подача

Рисунок 14.4 - Ограждение участка с применением промышленного робота

Наиболее эффективно активное ограждение. В простейшем случае для этой цели используют механические коммутационные устройства, например контактные плиты, трапы или другие аналогичные устройства. Сигнал при попадании человека в рабочее пространство передается в систему управления, и перемещение человека блокируется.

Пример такого устройства показан на рисунке 21.2.

На рисунке 21.3 показан РТК с комбинированным ограждением. В механическом (пассивном) ограждении устроены две двери с электрическими замками. Человек может попасть на участок, только открыв одну из этих дверей. При этом вырабатывается сигнал в систему управления, блокирующую перемещение и работу станка.

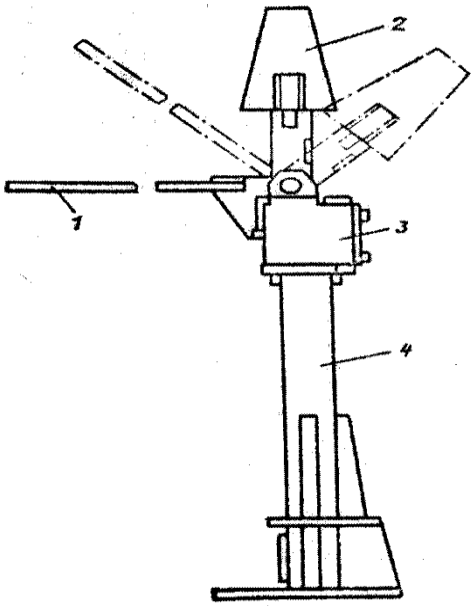
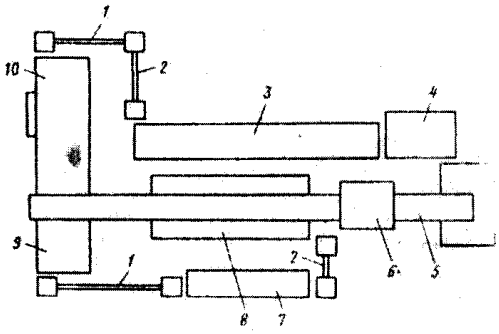
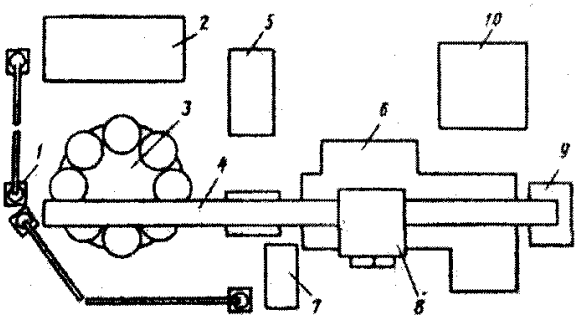


Рисунок 14.5 - Электромеханическое устройство ограждения



1 - ограждение; 2 - дверь с электрозамком; 3 -электрошкаф станка;
4 - блок энергопривода; 5 - монорельс; б - каретка;
7 - система управления; 8 - станок; 9 - тактовый стол; 10 - склад

Рисунок 14.6 - Комбинированное ограждение РТК

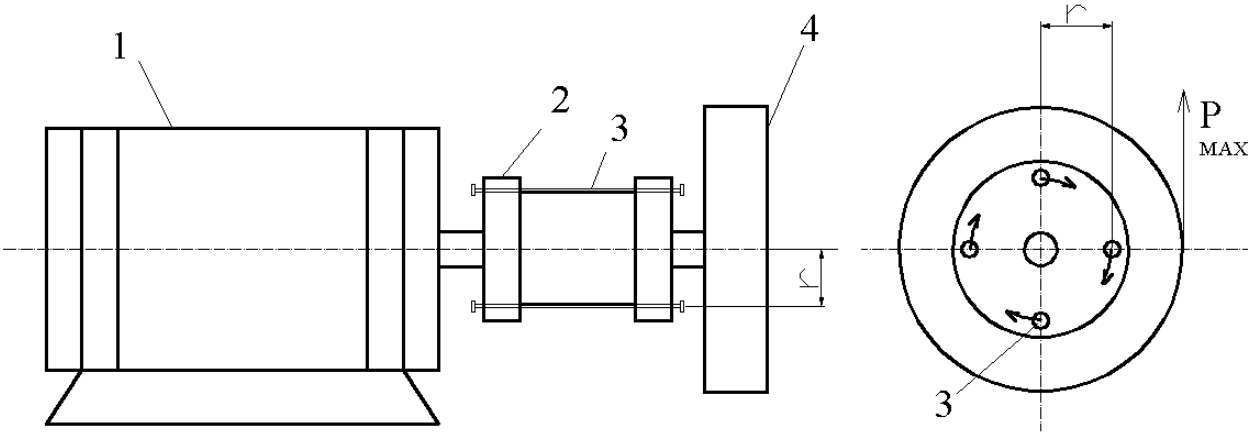


1 - ограждение; 2 - электрошкаф станка; 3 - магазин;
4 - монорельс; 5 - гидростанция; 6 - станок;
7 -система управления; 8 - каретка; 9 - опора; 10 -электрошкаф

Рисунок 14.7 - Пример ограждения РТК с использованием электромеханических устройств

14.3 Защита оборудования от механических перегрузок

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 на предохранительной муфте (рисунок 14.8)



1 – привод (электродвигатель, редуктор); 2 – предохранительная муфта;
3 – штифт; 4 – шлифовальный круг

Рисунок 14.8 – Схема крепления муфты сцепления

Диаметр штифтов в предохранительной муфте можно определить из уравнения моментов сил резания и реакций на штифтах:

$$RP_{макс} = n \cdot T \cdot r \qquad (14.1)$$

где T – предельное усилие на срез штифтов, Н.

$$T = \sigma_{пр} \cdot F \qquad (14.2)$$

$$R \cdot P_{max} = n \cdot F \cdot r \cdot \sigma_{пр} \qquad (14.3)$$

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.

$$F = \frac{\pi d^2}{4}, \qquad (14.4)$$

где F – площадь сечения одного штифта, м^2;
d – диаметр штифта, м.

Из уравнений (14.1) и (14.2) определим диаметр штифта d:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{P_{\max} \cdot R}{n \cdot r \cdot \sigma_{пр}}, \qquad d = \sqrt{\frac{4P_{\max} \cdot R}{\pi \cdot n \cdot r \cdot \sigma_{пр}}}$$

15 ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЗАЩИТНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И ЭКРАНОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

15.1 Расчет экрана на изгиб при статической нагрузке

Расчетная схема представлена на рисунке 15.1. 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.

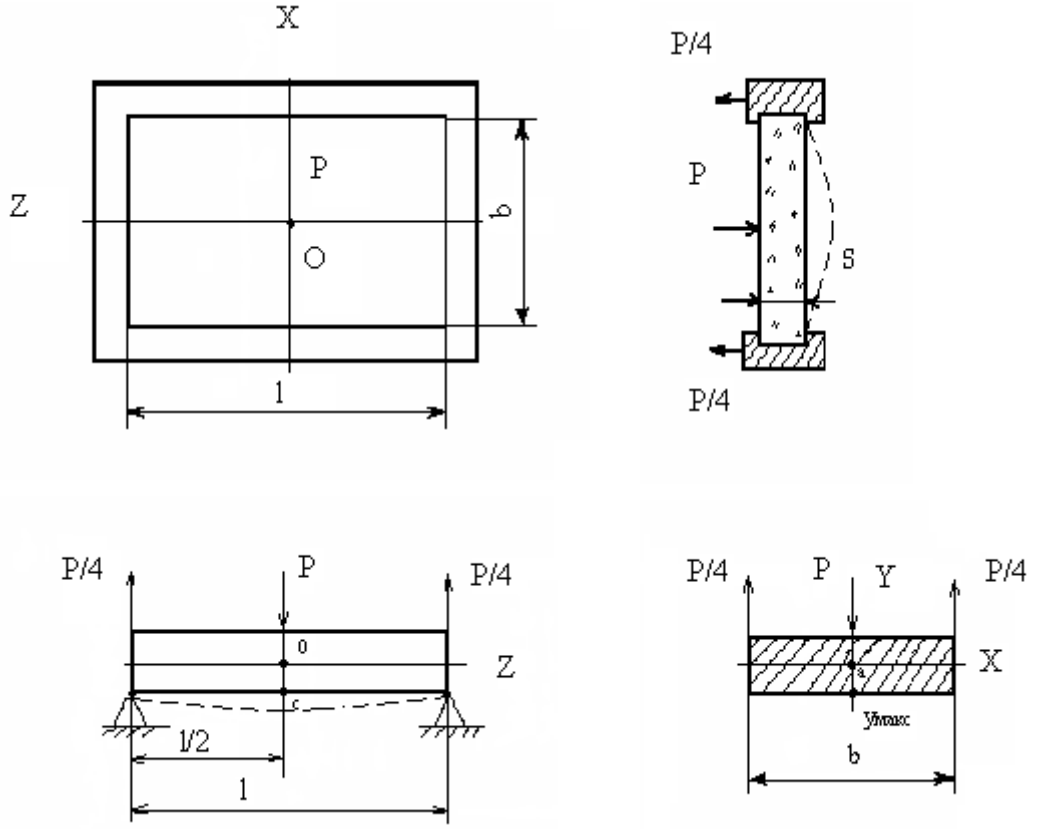


Рисунок 15.1 – Схема расчета экрана на изгиб при статической нагрузке

Так как усилие, приложенное к стеклу экрана, воспринимается боковыми, верхней и нижней сторонами рамки, то суммарное напряжение в стекле определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2}\,, \qquad (15.1)$$

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:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Y_x} \cdot y_{макс}\,, \qquad (15.2)$$

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

$$M_x = \frac{P}{4} \cdot \frac{\ell}{2} = \frac{P \cdot \ell}{8}, \qquad (15.3)$$

где P – усилие, приложенное к середине экрана, Н;

ℓ – длина экрана, м.

Момент инерции для прямоугольного сечения экрана относительно оси X

$$Y_x = \frac{b \cdot S^3}{12}, \qquad (15.4)$$

где b – ширина экрана, м;

S – толщина экрана, м.

Расстояние $y_{макс}$ равно половине толщины экрана сечения, то есть

$$y_{макс} = \frac{S}{2}. \qquad (15.5)$$

Подставив значения параметров уравнений (1.3), (1.4) и (1.5) в уравнение (1.2) получим

$$\sigma_x = \frac{P \cdot \ell \cdot 12 \cdot S}{8 \cdot b \cdot S^3 \cdot 2} = \frac{3 \cdot P \cdot \ell}{4 \cdot b \cdot S^2}. \qquad (15.6)$$

Аналогичным образом можно получить значение напряжения при изгибе экрана относительно оси Z

$$\sigma_z = \frac{3 \cdot P \cdot b}{4 \cdot \ell \cdot S^2}. \qquad (15.7)$$

Подставив в уравнение (15.1) значения σ_x и σ_z из формул (15.6) и (15.7) получим

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{3 \cdot P \cdot \ell}{4 \cdot b \cdot S^2}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot P \cdot b}{4 \cdot \ell \cdot S^2}\right)^2},$$

и упростив уравнение

$$\sigma = \frac{3 \cdot P}{4 \cdot b \cdot l \cdot S^2} \cdot \sqrt{\ell^4 + b^4}. \qquad (15.8)$$

15.2 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 15.2.

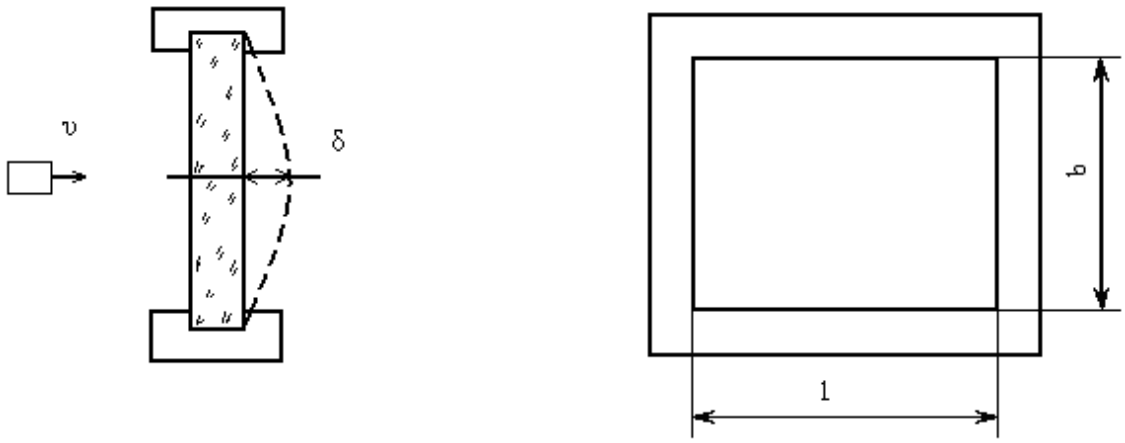


Рисунок 2.1 – Схема расчета экрана на изгиб при динамической нагрузке

При полете осколка и ударе об экран кинетическая энергия осколка переходит в работу по изгибу экрана, т.е.

$$E_{кин} = A, \qquad (15.9)$$

$$\frac{m \cdot \upsilon^2}{2} = \frac{P_{дин}}{2} \cdot \delta_{дин}, \qquad (15.10)$$

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

$$\delta_{дин} = \frac{P_{дин} \cdot \ell^3}{48 \cdot E \cdot Y_x}, \qquad (15.11)$$

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

$$Y_x = \frac{b \cdot S^4}{12}, \qquad (15.12)$$

где b – ширина экрана, м;
S – толщина экрана, м.

Подставив уравнение (2.4) в (2.3) получим

$$\delta_{дин} = \frac{P_{дин} \cdot \ell^3 \cdot 12}{48 \cdot E \cdot b \cdot S^3} = \frac{P_{дин} \cdot \ell^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3}, \qquad (15.13)$$

Подставив уравнение (2.5) в (2.2) получим

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{P_{дин}}{2} \cdot \frac{P_{дин} \cdot \ell^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3}$$

или

$$m\upsilon^2 = \frac{P_{дин}^2 \cdot \ell^3}{4 \cdot E \cdot b \cdot S^3}, \qquad (15.14)$$

Напряжение при изгибе экрана определяется по формуле

$$\sigma_{дин} = \frac{M_x}{Y_x} \cdot y, \qquad (15.15)$$

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,

$$y = \frac{S}{2}. \qquad (15.16)$$

Изгибающий момент

$$M = \frac{P_{дин}}{2} \cdot \frac{\ell}{2} = \frac{P_{дин} \cdot \ell}{4}. \qquad (15.17)$$

Из уравнений (15.15), (15.12), и (15.17) найдем

$$\sigma_{дин} = \frac{P_{дин} \cdot \ell \cdot 12 \cdot S}{4 \cdot b \cdot S^3 \cdot 2} = \frac{3 \cdot P_{дин} \cdot \ell}{2 \cdot b \cdot S^2}, \qquad (15.18)$$

Из (15.18) усилие

$$P_{дин} = \frac{2 \cdot \sigma_{дин} \cdot b \cdot S^2}{3 \cdot \ell}. \qquad (15.19)$$

Подставив уравнение (19.19) в (15.14) получим

$$m \cdot \upsilon^2 = \frac{\sigma_{дин}^2 \cdot 4 \cdot b^2 \cdot S^4 \cdot \ell^2}{9 \cdot l \cdot 4 \cdot E \cdot b \cdot S^3},$$

или

$$m \cdot \upsilon^2 = \frac{\sigma_{дин}^2 \cdot b \cdot S \cdot \ell}{9 \cdot E}. \qquad (15.20)$$

Напряжение в экране от изгиба

$$\sigma_{дин} = \left[\frac{9 \cdot E \cdot m \cdot \upsilon^2}{\ell \cdot b \cdot S} \right]^{1/2}, \qquad (15.21)$$

расчетная толщина экрана

$$S_{расч} = \frac{9 \cdot E \cdot m \cdot \upsilon^2}{\ell \cdot b \cdot \sigma_{доп}^2}, \qquad (15.22)$$

где $S_{расч}$ – расчетная толщина экрана, м;

$\sigma_{доп}$ – допустимое напряжение на изгиб материала экрана, Н/м^2.