

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 20.06.2024 13:38:38

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c117d1b73a8451641d9f3fd5610889

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2024 г.

### ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ»

Методические указания к проведению практических работ по  
дисциплине «Безопасность технологических процессов и производств»  
для студентов очной и заочной формы обучения направления  
«Техносферная безопасность»

Курск 2024

УДК 331.45

Составители: А.Н. Барков

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Г.П. Тимофеев*

**Практикум по дисциплине «Безопасность технологических процессов и производств»:** методические указания к проведению практических работ по дисциплине «Безопасность технологических процессов и производств» / сост. А.Н. Барков; Юго–Зап. гос. ун–т. Курск, 2024. 47 с.: Библиогр.: с. 47.

Излагаются методические рекомендации по проведению практических работ по дисциплине «Безопасность технологических процессов и производств».

Предназначены для студентов очной и заочной формы обучения направления 20.03.01 "Техносферная безопасность" изучающих дисциплину «Безопасность технологических процессов и производств».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать                      Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л.                      . Уч.–изд.л.                      . Тираж 50 экз. Заказ                      . Бесплатно.  
Юго–Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.



## 1.2 Тепловыделения от станков

Количество тепла, выделяемого от станков, определяется по формуле:

$$Q = 860 \times N_{\phi} \times \varphi, \quad (1)$$

где 860 – тепловой эквивалент;

$N_{\phi}$  – номинальная мощность, расходуемая станками, кВт;

$\varphi$  – определяется по формуле:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4, \quad (2)$$

где  $\varphi_1$  – коэффициент использования уставной мощности (обычно  $\varphi_1 = 0,7 - 0,9$ );

$\varphi_2$  – коэффициент загрузки (обычно  $\varphi_2 = 0,5 - 0,8$ );

$\varphi_3$  – коэффициент одновременности работы (обычно  $\varphi_3 = 0,5 - 1,0$ );

$\varphi_4$  – коэффициент ассимиляции тепла воздухом, учитывающий, какая частота тепла затрачиваемой механической энергии передается в виде тепла воздуху помещения (колеблется от 0,1 до 1).

Для определения тепловыделений в механических и механосборочных цехах ориентированно принятой  $\varphi_4 + 0,25$ .

## 1.3 Тепловыделения от нагретого материала

Количество тепла, выделяемого в помещении нагретым материалом, определяется по формуле:

$$Q = G_H \times C \times (t_{\text{нач}} - t_{\text{к}}), \quad (3)$$

где  $G_H$  – вес материала, кг ;

$C$  – средняя теплоемкость материала, (кирпич – 877,8 Дж, железо – 480,6 Дж, чугун – 418,6 Дж);

$t_{\text{нач}}$  – начальная температура, °С;

$t_{\text{к}}$  – конечная температура, °С.

## 1.4 Тепловыделения от источников искусственного освещения

Избытки тепла в помещении от источников света можно определить из выражения:

$$Q = 860 \times N_{\Sigma}, \quad (4)$$

где  $N_{\Sigma}$  – суммарная потребляемая мощность освещения, кВт.

Практически принимается, что вся мощность источника света переходит в тепло.

## 1.5 Тепло, вносимое в помещение солнечной радиацией

В теплый период года (при наружной температуре более плюс 10 °С ) следует учитывать солнечную радиацию. Количество тепла, поступающего от солнечной радиации, определяется по формуле:

$$Q = F_{\text{ост}} \times K_{\text{ост}} \times q_{\text{ост}} \quad (5)$$

где  $F_{\text{ост}}$  – поверхность остекления, м<sup>2</sup>;

$K_{\text{ост}}$  – коэффициент, зависящий от характеристики остекления;

$q_{\text{ост}}$  – солнечная радиация через 1 м<sup>2</sup> поверхности остекления в зависимости от ориентации по сторонам света, Дж.

Таблица 2 – Значение коэффициента,  $K_{\text{ост}}$

Характеристика остекления	Значение коэффициента, $K_{\text{ост}}$
Двойное остекление в одной раме	1,15
Одинарное остекление	1,45
Обычное загрязнение стекол	0,8
Сильное загрязнение стекол	0,7
Побелка стекол	0,6
Остекление с матовыми стеклами	0,4
Внешнее зашторивание окон	0,25

Солнечная радиация через стены не учитывается ввиду ее незначительности.

Таблица 3 – Значение коэффициента,  $q_{ост}$ 

Расчетная географическая широта, с.ш.	Истинное солнечное время года		Коэффициент, $q_{ост}$ , Дж							
	До полудня	После полудня	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
52	5–6	18–19	196742	246974	263718	188370	113022	100464	100464	100464
	6–7	17–18	246974	351624	426972	326508	213486	154882	159068	159068
	7–8	16–17	255346	380926	464646	397670	272090	196742	192556	192556
	8–9	15–16	242788	347438	443716	410228	305578	226044	205114	209300
	9–10	14–15	226044	284648	359996	397670	313950	212788	213486	217672
	10–11	13–14	217672	246974	301392	351624	322322	259532	217672	221858
	11–12	12–13	213486	234416	259532	309764	326508	280462	234416	226044

Примечание – Данные приведены для одинарного остекления со стеклом толщиной 2,5–3,5 мм.

### 1.6 Тепловыделения от нагретой поверхности воды

Тепловыделения от нагретой поверхности воды или других жидкостей определяются по формуле:

$$Q = (4,9 + 3,5 \times V) \times (t_w - t_{возд}) \times F, \quad (6)$$

где  $V$  – скорость воздуха над водной поверхностью, м/с ;

$t_w$  – температура воды, °С;

$t_{возд}$  – температура воздуха в помещении, °С;

$F$  – площадь водной поверхности, м<sup>2</sup>.

Далее определяем суммарное избыточное тепло, поступающее в помещение:

$$Q_{изб} = Q_{людей} + Q_{н. матер.} + Q_{станков} + Q_{ист. св.} + Q_{солн. рад.} + Q_{пов. воды}. \quad (7)$$

Затем определяем избыточное тепло с учетом тепловых потерь:

$$Q_{изб} = Q_{пост} + Q_{т.п.}, \quad (8)$$

где  $Q_{пост}$  – тепло, поступившее в помещение, Дж;

$Q_{т.п.}$  – тепловые потери, Дж.

Тепловые потери можно определить по формуле:

$$Q_{\text{тп}} = K \times F \times (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}), \quad (9)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи (для кирпичной стенки – 3348–3767 Дж, для бетонной – 5441–1279 Дж;

$F$  – площадь поверхности ограждения,  $\text{м}^2$ ;

$t_{\text{вн}}$  – внутренняя температура в помещении,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{н}}$  – наружная температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

## 2 Определение необходимого воздухообмена

Расчет объема приточного воздуха, необходимого для разбавления избыточных тепловыделений, производят по формуле:

$$L = Q_{\text{изб}} / 0,24 \times \gamma \times (t_{\text{ух}} - t_{\text{пр}}), \quad (10)$$

где  $L$  – необходимый объем приточного воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_{\text{изб}}$  – избыточные тепловыделения, Дж;

$\gamma$  – плотность воздуха при температуре, соответствующей температуре подаваемого в помещение воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (см. Приложение А);

1004,6 – теплоемкость воздуха, Дж;

$t_{\text{пр}}$  – температура приточного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{ух}}$  – температура уходящего из помещения воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

## 3 Определение избыточного давления и площади проемов

При расчете аэрации определяется площадь верхних и нижних вытяжных проемов. Вначале задаются площадью нижних проемов. Приводится схема аэрации помещения. В зависимости от площади открытия верхних вытяжных и нижних приточных фрамуг в помещении устанавливается уровень равных давлений (примерно посередине высоты здания) (Рисунок 1). Давление в этой плоскости равно нулю.



где  $L$  – необходимый воздухообмен,  $\text{м}^3/\text{ч}$  ;

$\mu$  – коэффициент расхода, зависящий от конструкции створок и угла их открытия (для створок, открытых на  $90^\circ$ ,  $\mu = 0,6$ ; на  $30^\circ$  –  $\mu = 0,32$ );

$F$  – площадь нижних проемов,  $\text{м}^2$ .

Далее определяем потери давления, Па, в нижних проемах:

$$H_1 = (V_1^2 \times \gamma_n) / (2 \times g) \quad (16)$$

Определяем по формуле (14), принимая температуру уходящего воздуха ( $t_{yx} = t_n + (10 \div 15 \text{ } ^\circ\text{C})$ ) и определяем по таблице А.1 (см. Приложение А) плотность и  $\gamma_{\text{ср.п.}}$ , соответствующие температурам  $t_n$  и  $t_{\text{ср.п.}}$ .

Находим избыточное давление в плоскости верхних вытяжных проемов:

$$H_2 = H_r - H_1 \quad (17)$$

Определяем требуемую площадь верхних проемов ( $\text{м}^2$ ):

$$F = \frac{L}{\mu \times \sqrt{\frac{H_2 \times 2 \times g}{\gamma_{\text{ср.п.}}}}} \quad (18)$$

## Приложение А

Таблица А.1 – Масса  $1\text{ м}^3$  воздуха в килограммах ( $\gamma$ ) при различных его температурах ( $t$ ) и нормальном атмосферном давлении,  $\text{кг/м}^3$

$t, ^\circ\text{C}$	$\gamma$						
-30	1,450	-7	1,327	+16	1,222	+39	1,132
-29	1,445	-6	1,322	+17	1,217	+40	1,128
-28	1,438	-5	1,317	+18	1,213	+41	1,124
-27	1,435	-4	1,312	+19	1,209	+42	1,121
-26	1,428	-3	1,308	+20	1,205	+43	1,117
-25	1,424	-2	1,303	+21	1,201	+44	1,114
-24	1,418	-1	1,298	+22	1,197	+45	1,110
-23	1,412	0	1,293	+23	1,193	+46	1,107
-22	1,407	+1	1,288	+24	1,189	+47	1,103
-21	1,401	+2	1,284	+25	1,185	+48	1,100
-20	1,396	+3	1,279	+26	1,181	+49	1,096
-19	1,390	+4	1,275	+27	1,177	+50	1,093
-18	1,385	+5	1,270	+28	1,173	+51	1,090
-17	1,379	+6	1,265	+29	1,169	+52	1,086
-16	1,374	+7	1,261	+30	1,165	+53	1,080
-15	1,368	+8	1,256	+31	1,161	+54	1,076
-14	1,363	+9	1,252	+32	1,157	+55	1,073
-13	1,358	+10	1,248	+33	1,154	+56	1,070
-12	1,353	+11	1,243	+34	1,150	+57	1,067
-11	1,348	+12	1,239	+35	1,146	+58	1,063
-10	1,342	+13	1,235	+36	1,142		
-9	1,337	+14	1,230	+37	1,139		
-8	1,332	+15	1,226	+38	1,135		

## Практическая работа №2

### «Исследование опасности поражения человека током в трёхфазных электрических сетях напряжением до 1000 В»

Цель работы: ознакомиться с приёмами исследования опасности поражения током в трёхфазных сетях переменного тока напряжением до 1000 В и изучить технические способы защиты от такого поражения.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться с общими сведениями.

2. Оценить согласно варианту (табл. 1) по величине тока, проходящего через тело человека, опасность прикосновения к фазе двух типов трёхфазных электросетей:

– четырёхпроводной с глухозаземлённой нейтралью

– трёхпроводной с изолированной нейтралью

В каждой сети рассмотреть с использованием эквивалентных схем по два случая прикосновения:

– с учётом сопротивления обуви ( $R_{об}$ ) и пола ( $R_{пол}$ );

– без учёта сопротивления  $R_{об}$  и  $R_{пол}$  (принять их равными нулю) и сделать

вывод о влиянии этих сопротивлений на степень поражение электрическим током.

3. Сравнить между собой трёхфазные электросети по степени опасности поражения человека током.

4. Ознакомиться и законспектировать сведения о причинах поражения электрическим током и технических способах и средствах защиты от поражения ими.

## 1. Общие сведения

Известно, что электрическая энергия удобнее и безопаснее любой из известных форм энергий. Однако и при её использовании существуют определённая вероятность поражения человека током.

Все случаи поражения человека током являются результатом замыкания электрической цепи через его тело, или, иначе говоря, результатом прикосновения 51 человека к двум точкам цепи, между которыми существует напряжение. Опасность такого прикосновения оценивается силой тока ( $I_h$ ), проходящего через тело человека. Величину силы тока определяет закон Ома:

$$I_h = \frac{U}{R}, \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение, под которое попал человек, В;

$R$  – полное сопротивление участка цепи, элементом которой стал человек, Ом.

Из формулы (1) видно, что сила зависит от двух величин – напряжение и сопротивления. Такая зависимость подсказывает два главных подхода в обеспечении безопасности человека от поражения током – снижение напряжения и увеличение сопротивления. Однако, это самые общие соображения.

Углубляясь же в анализ условий поражения человека током, можно отметить, что степень поражения человека электрическим током зависит от того:

- в какую электрическую сеть он включился;
- каким оказалось включение.

В системе энергоснабжения используются два вида электросетей:

- трёхфазная электросеть с глухозаземлённой нейтралью (4-х проводная);
- трёхфазная электросеть с изолированной нейтралью (3-х проводная).

**Глухозаземлённой нейтралью** называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединённая к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (2 – 8 Ом).

**Изолированной нейтралью** называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединённая к заземляющему устройству или присоединённая через аппараты, компенсирующие ёмкостный ток в сети, трансформатор напряжения или другие аппараты, имеющие большое сопротивление.

Прикосновение (включение) к токоведущим элементам в трёхфазных сетях может быть однофазным и двухфазным.

**Однофазное включение** – это прикосновение к одной фазе электроустановки, находящейся под напряжением .

При этом электрическая цепь тока, проходящего через человека, включает в себя, кроме сопротивления тела человека ( $R_h$ ), также сопротивление пола ( $R_{пол}$ ), сопротивление обуви ( $R_{об}$ ) и заземление нейтрали источника тока ( $R_0$ ).

В случае прикосновения человека к фазному проводу трёхфазной сети с глухозаземлённой нейтралью ток будет:

$$I_h = \frac{U}{R} = \frac{U_\phi}{R} = \frac{U_l}{\sqrt{3} \times (R_h + R_{об} + R_{пол} + R_o)}, \quad (2)$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение, В = 220;

$U_l$  – линейное напряжение, В = 380;

$R_o$  = 4 Ом.

А в случае прикосновения человека к фазному проводу трёхфазной сети с изолированной нейтралью ток будет:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{об} + R_{пол} + \frac{R_u}{3}}, \quad (3)$$

где  $R_u$  – сопротивление изоляции проводов.

Двухфазное включение – это одновременное прикосновение к двум фазам электроустановки, находящейся под напряжением. При этом человек находится под линейным напряжением, которое в 3 раза больше фазного. Такое включение наиболее опасно. Силу тока, проходящего через тело человека, определяют при этом соотношением: где, обозначения те же.

$$I_h = \frac{U}{R} = \frac{\sqrt{3} \times U_\phi}{R_h} = \frac{U_l}{R_h}, \quad (4)$$

где, обозначения те же.

## 2. Задачи

№ 1. Определить по варианту (табл. 1) силу тока, проходящего через тело человека, при однофазном его прикосновении к неизолированным токоведущим частям трёхфазной электросети с глухозаземлённой нейтралью с учётом и без учёта сопротивлений пола и обуви. После расчётов сделать вывод об их влиянии на степень поражения электрическим током.

№ 2. Определить по варианту (табл. 1) силу тока, проходящего через тело человека, при однофазном его прикосновении к неизолированным токоведущим частям электросети с изолированной нейтралью с учётом и без учёта сопротивлений пола и обуви. По результатам расчётов сделать вывод о влиянии сопротивлений пола и обуви на степень опасности поражения током, а также сравнить по степени электробезопасности оба типа электросетей.

Таблица 1 – Варианты заданий для расчета

ПОКАЗАТЕЛИ	ВАРИАНТЫ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сопротивление тела человека, $R_{\text{ч}}$ (кОм)	1.2	0.9	1.1	1.0	1.3	0.8	0.9	1.25	1.5	1.35
Сопротивление изоляции проводов, $R_{\text{и}}$ (кОм)	500	700	600	550	750	800	900	1200	850	1000
Сопротивление пола $R_{\text{пол}}$ (кОм)	1.4	1.6	2.2	2.0	1.8	1.5	2.5	2.4	3.0	3.5
Сопротивление обуви, $R_{\text{об}}$ (кОм)	1.5	7.5	5.5	6.0	2.5	3.0	4.0	1.9	5.0	4.8

### 3. Основные причины поражения человека электрическим током

1. Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям электроустановки.
2. Прикосновение к незаземлённым корпусам машин и трансформаторов с повреждённой изоляцией.
3. Несоблюдение правил технической эксплуатации электроустановок.
4. Работа с неисправными ручными электроинструментами.
5. Работа без защитных изолирующих и предохранительных приспособлений.
6. Шаговое напряжение на поверхности земли в результате обрыва токонесущего провода.

### 4. Технические способы защиты от поражения электрическим током

**1. Защитное заземление** – это преднамеренное электрическое соединение с землёй или её эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Суть заземления заключается в том, что все конструкции из металла,

могущие оказаться под напряжением, соединяют с заземляющим устройством через малое сопротивление. Это сопротивление должно быть во много раз меньше, чем сопротивление человека ( $R_h = 1000$  кОм). В случае замыкания на корпус аппарата основная часть тока пройдёт через заземляющее устройство.

**2. Защитное зануление** – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Такое электрическое соединение превращает всякое замыкание токоведущих частей на землю в однофазное короткое замыкание, а это обеспечивает срабатывание «защиты» (предохранителей, автоматов и пр.), отключение повреждённой установки от питающей сети.

**3. Защитное отключение.** При нём используют реле напряжения, соединённое с металлическими нетоковедущими частями оборудования, которые могут оказаться под напряжением. При замыкании фазы на корпус, при снижении сопротивления изоляции фаз или при появлении в сети более высокого напряжения происходит автоматическое отключение электроустановки от источника питания.

**4. Выравнивание потенциалов.** Для этого снижают напряжение (сближают потенциалы) между точками электрической цепи, к которым человек может прикоснуться и на которых может стоять.

**5. Малые напряжения** (не более 420 В) уменьшают опасность поражения человека электрическим током. Их используют для питания электроинструмента, светильников местного освещения, переносных ламп в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных.

**6. Электрическое разделение сети.** Сеть разделяют на отдельные, не связанные между собой участки, с использованием отдельных трансформаторов (на каждый электроприёмник свой трансформатор). Эти трансформаторы электроприёмники от общей сети и, следовательно, предотвращают воздействие на них токов утечки, замыканий на землю. Тем самым исключаются условия, которые могут привести к электротравме.

**7. Изоляция** – обеспечивает недоступность к токоведущим частям электроустановки. Исправная изоляция – основное условие электробезопасности. Однако в процессе эксплуатации изоляция подвергается воздействиям, приводящим её к старению. Главное из них – нагревание её рабочими и пусковыми токами, токами короткого замыкания или от посторонних источников. Нужен периодический

контроль её состояние. Сопротивление изоляции не должно быть менее 0.5 мОм.

**8. Ограждение токоведущих частей** чаще всего предусматривается конструкцией электрооборудования. Корпуса, кожухи, щитки препятствуют случайным прикосновениям к ним. Голые провода, шины, открытые приборы и аппараты помещают в шкафы, ящики или закрывают сплошным или сетчатым ограждением (высотой 1.7 – 2 м).

**9. Блокировка** не позволяет открыть ограждения, когда электроустановка под напряжением и автоматически снимает напряжение при раскрытии ограждения.

**10. Сигнализация световая и звуковая** применяется в электроустановках в сочетании с другими мерами защиты от поражения электрическим током.

**11. Средства защиты** при обслуживании электроустановок. К ним относятся: изолирующие штанги, измерительные и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки и инструменты с изолирующими ручками, а так же диэлектрические колпаки, галоши, коврики, изолирующие подставки, переносные заземления, оградительные устройства, плакаты и знаки безопасности. Кроме перечисленных электрозащитных средств при необходимости применяются индивидуальные средства защиты (очки, каски, противогаз, рукавицы, предохранительные монтерские пояса, страховочные канаты).

## Практическая работа №3

### «Защита от шума на рабочем месте»

Цель работы: Ознакомиться с нормативными требованиями к производственным шумам, определить эффективность некоторых мероприятий по уменьшению шума.

#### Общие сведения

Шум, как беспорядочное сочетание звуков различной силы и частоты, оказывает вредное влияние на организм человека, вызывая нервные и психические заболевания. Через нервную систему шум вызывает заболевания сердца, иногда приводит к хроническим заболеваниям коры головного мозга, почек, к появлению гипертонической болезни.

Продолжительная работа в условиях высокого шума выше 80 дБ (А) приводит к глухоте и общему ухудшению состояния здоровья человека, именуемому шумовой болезнью.

Различают следующие степени потери слуха:

1 степень (легкое снижение слуха) – потеря слуха в области речевых частот составляет 10–20 дБ, на частоте 4000 Гц –  $60 \pm 20$  дБ;

2 степень (умеренное снижение слуха) – потеря слуха соответственно составляет 21 – 30 дБ и  $65 \pm 20$  дБ;

3 степень (значительное снижение слуха) – потеря слуха соответственно составляет 31 дБ и более  $78 \pm 20$  дБ.

Постоянный шум (особенно его высокочастотные составляющие) повышает нервное напряжение, вызывает утомление работающих и на 10–15% снижает производительность труда.

Колебания твердой, жидкой или газообразной сред в диапазоне 16Гц–20кГц, воспринимаемые ухом человека как звук, называют звуковыми (акустическими).

#### Борьба с шумом

Защита человека и окружающей среды от шума должна достигаться разработкой шумобезопасной техники, применением средств и методов коллективной защиты, применением средств индивидуальной защиты, а также строительными–акустическими методами. Средства коллективной защиты подразделяются на:

а) снижающие шум в источнике его возникновения;

б) снижающие шум на пути его распространения;

Акустические средства защиты от шума в зависимости от принципа действия подразделяются на средства звукоизоляции, средства звукопоглощения, средства виброизоляции, средства демпфирования и глушители шума.

Снижение шума в источнике может быть достигнуто применением технологических процессов и оборудования, не создающих чрезмерного шума.

Например, электрофизические методы в металлообработке, создание неразъемных соединений сваркой, оклеиванием, прессованием и т.д.

Снижение производственного шума по пути его распространения достигается комплексом строительно–акустических мероприятий.

При расположении промышленных зданий на генеральном плане не допускается размещение объектов, требующих особой защиты от шума, в непосредственной близости от шумных помещений. Наиболее шумные объекты необходимо компоновать в отдельные комплексы.

Внутри зданий предусматривать максимально возможное удаление таких помещений от помещений с интенсивными источниками шума.

Для уменьшения шума в помещении с расположенными в нем источниками шума следует предусматривать: кабины наблюдения, дистанционное управление и специальные боксы для наиболее шумного оборудования; звукоизолирующие кожухи, акустические экраны, вибродемпфирующие покрытия на вибрирующие тонкие металлические поверхности; звукопоглощающие облицовки стен и потолка или штучные звукопоглотители; звукоизолированные кабины и зоны отдыха обслуживающего персонала.

При невозможности снизить шум строительно–акустическими методами следует применять средства индивидуальной защиты, дающие возможность снизить шум на 10 – 40 дБ. Их эффективность, как правило, максимальна в области высоких частот, наиболее вредных и неприятных для человека.

В зависимости от конструктивного исполнения средства индивидуальной защиты делятся на противозумные наушники, противозумные вкладыши, противозумные шлемы и каски, противозумные костюмы.

В ряде случаев достаточная защита от шума оборудования достигается применением акустических экранов.

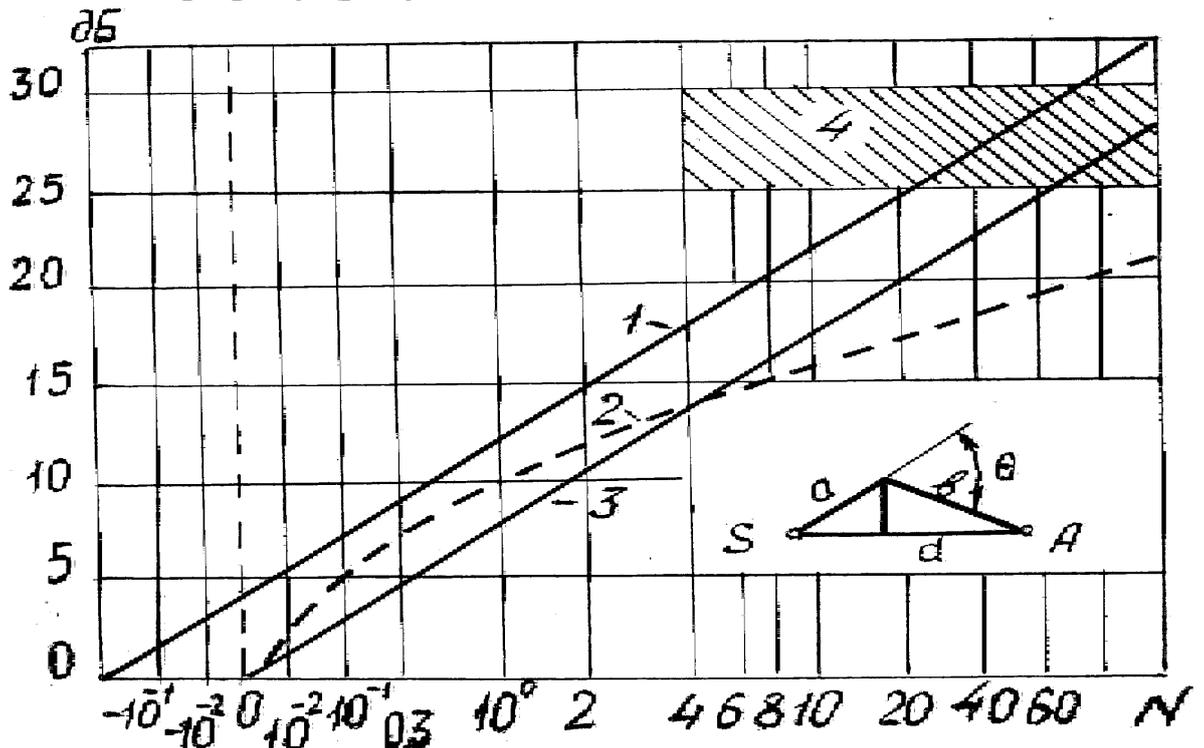
Использование акустических экранов целесообразно, когда в расчетной точке уровень звукового давления прямого звука от источников шума значительно выше, чем уровень звукового давления отраженного звука.

В качестве материала для экранов используют листы толщиной 1,5–2,0 мм из стали или алюминиевых сплавов. Листы облицовывают звукопоглощающим материалом.

Звуконепроницаемая преграда отражает и “поглощает” падающие на нее звуковые волны.

Если размеры преграды больше длины звуковой волны, то за ней образуется “звуковая тень”. Часть волн огибает края преграды (экрана) и попадает в область тени.

Снижение уровня звукового давления бесконечно длинным экраном  $L_{\text{экр}}$  [дБ] рассчитывается на основе законов дифракции и определяется по графику (рисунок 1).



S – источник звука; A – точка наблюдения; 1 – точечный источник высоко над землей; 2 – линейный источник; 3 – точечный источник на земле; 4 – область максимально достижимого снижения;  $\theta$  – теньевой угол.

Рисунок 1 – Зависимость снижения уровня звукового давления от числа Френеля

Здесь  $N$  – число Френеля

$$N = \frac{2 \times \delta}{\lambda}, \text{ где } \delta = a + b - d; \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

$(a + b)$  – длина кратчайшего пути от источника в точку наблюдения, проходящего через верхнюю кромку экрана;

$c$  – скорость звука (в воздухе 344 м/с);

$f$  – частота звука;

$d$  – расстояние между ними по прямой (визирной) линии; значение отрицательно, когда визирная линия проходит над экраном.

Некоторое снижение уровня шума имеет место даже вне области геометрической тени ( $\delta < 0$ ). При  $\delta = 0$  на границе тени:

$$L_{\text{экр}} = 5 \text{ дБ}$$

В области тени ( $\delta > 0$ ) сильнее экранируется высокочастотный звук, а при  $\delta < 0$  – низкочастотный, т.к. последний эффективнее огибает экран. В результате экранирования меняется форма спектра шума.

Если экран имеет конечные размеры, то звук огибает его со всех сторон, ослабляясь на каждом пути, а затем суммируется энергетически.

Линия 1 на рис.1 определяет снижение уровня звукового давления  $L_{\text{экр}}$  только в том случае, когда высоты источника звука и точки наблюдения над поверхностью земли составляют не менее четверти расстояния до экрана.

Если источник и точка наблюдения находятся на поверхности земли или вблизи от нее, то  $L_{\text{экр}}$  определяется линией 3 (рис.1).

Изложенный метод расчета является приближенным.

При малых теневого углах могут наблюдаться отклонения фактических значений  $L_{\text{экр}}$  от рассчитанных этим методом.

При наличии нескольких длинных преград, расположенных одна за другой, расчет ведется последовательно. Для каждой преграды источником считается ближайшая точка на верхней кромке предыдущей преграды, а точкой наблюдения – такая же точка на следующей преграде.

Все точки берутся в вертикальной плоскости, проведенной через визирную линию, соединяющую действительный источник и точку наблюдения.

Максимальная эффективность экранов на открытом воздухе может достигать 25 – 30 дБ (А); в помещениях 10 – 15 дБ (А).

### Пример

Рассчитать уровень звукового давления на рабочем месте и определить, насколько превышает найденный уровень шума нормативный в октаве 4000 Гц (наиболее вредной для человека).

Исходные данные:

1. Уровень шума источника в октаве 4000 Гц  $L = 81$  дБ.
2. Высота экрана  $h = 0,5$  м.
3. Расстояние от экрана до источника шума 1 м и от экрана до рабочего места 0,6 м.
4. Примем, что источник шума точечный и расположен на земле.

### Решение:

1. Определим параметр  $\delta$   
 $\delta = a + b - d = 1,12 + 0,78 - 1,6 = 0,3 \lambda$
2. Определим длину волны  
 $\lambda = c/f = 344 / 4000 = 0,086$
3. Определим число Френеля  $N$   
 $N = 2 \times 0,3 / 0,086 = 6,98$
4. Находим по диаграмме рис.1 снижение уровня звукового давления экраном,  $L_{\text{экр}}$  приблизительно 17 дБ.
5. Рассчитываем уровень звукового давления на рабочем месте  
 $L_p = L - L_{\text{экр}} = 81 - 17 = 64$  дБ.
6. Вывод. Экран обеспечивает защиту на постоянных рабочих местах (см. табл. 1).

### Задание

Рассчитать уровень звукового давления на рабочем месте, определить соответствует ли этот уровень нормативным требованиям (если не соответствует, то дать рекомендации по снижению уровня) по вариантам.

Варианты

исходные дан- ные	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f$ , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	1000	2000
$h$ , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,5	1,5	1,0
$L$ , дБ	99	85	60	100	90	80	70	65	50	95

Расстояния от экрана до источника шума и от экрана до рабочего места взять такими же, как и в примере.

### **Защита от шума с помощью звукоизолирующих кожухов**

Звукоизолирующие кожухи, как правило, являются эффективным средством уменьшения шума от оборудования и позволяют значительно снизить шум в непосредственной близости к источнику.

Кожухи могут быть съемными или разборными, иметь смотровые окна, открывающиеся двери, а также проемы для ввода коммуникаций.

Кожухи делают из стали и других материалов.

Внутренние поверхности стенок кожухов облицовывают звукопоглощающим материалом. Звукоизолирующие кожухи устанавливают на упругих прокладках.

При проектировании кожуха необходимо сначала определить его требуемую акустическую эффективность. Требуемая эффективность звукоизолирующего кожуха определяется по формуле:

$$\Delta L_{\text{эф.тр}} = L_p - 10 \lg S - L_{\text{доп}} + 5, \text{ дБ} \quad (1)$$

где  $L_p$  – октавный уровень звуковой мощности источника шума, дБ,

$L_{\text{доп}}$  – допустимый по нормам уровень звукового давления в расчетной точке (на рабочем месте), дБ

Акустическая эффективность кожуха зависит от звукоизолирующей способности его стенок, размеров кожуха и источника шума, наличия звукопоглощающей облицовки под кожухом, от способа установки кожуха.

Звукоизолирующая способность стенок кожуха определяется поверхностной плотностью и жесткостью, в сильной степени зависит от формы стенки и ее размеров. Кроме того звукоизолирующая способность меняется при нанесении на стенку кожуха слоя звукоизолирующего материала.

Эмпирическая зависимость между этими величинами следующая:

$$L_{\text{эф.к}} = R_k - 10 \lg \times \frac{S_k}{S_{\text{ист}}} \text{ дБ}, \quad (2)$$

где  $\Delta L_{\text{эф.к}}$  – акустическая эффективность кожуха, дБ

$R_k$  – звукоизолирующая способность стенки кожуха, дБ

$S_{\text{ист}}$  – площадь воображаемой поверхности, вплотную окружающей источник шума, м<sup>2</sup>

$S_k$  – площадь поверхности кожуха,  $m^2$

Требуемая звукоизолирующая способность стенок кожуха  $R_{к.тр.}$  зависит от требуемой эффективности кожуха следующим образом:

$$R_{к.тр.} = \Delta L_{эф.тр.} + 10 \lg (S_k / S_{ист}) \quad \text{дБ}, \quad (3)$$

где  $\Delta L_{эф.тр.}$  – определяется по формуле (1)

Если звукоизолирующая способность стенки кожуха ниже  $R_{к.тр.}$  следует увеличить толщину стенки или заменить материал кожуха или нанести на внутренние стенки кожуха звукоизолирующий материал.

**Пример.**

Спроектировать звукоизолирующий кожух на машину. Машина требует охлаждения, поэтому в кожухе предусмотрены отверстия для циркуляции воздуха.

Спектр звуковой мощности, излучаемый машиной, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Спектр звуковой мощности

Среднегеометрические частоты, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
уровень звуковой мощности, дБ	95	110	116	125	130	126	118	120

Габариты машины: длина 4м, ширина 2м, высота 2м.

Расчетная точка (рабочее место оператора) находится на расстоянии 1м от поверхности машины.

**Решение.**

1. Определяем требуемую эффективность кожуха по формуле (1).

Площадь воображаемой поверхности, окружающей машину, и проходящей через расчетную точку

$$S = (6 \times 3) \times 2 + (4 \times 3) \times 2 + (6 \times 4) = 84 \text{ м}^2$$

Допустимые уровни звукового давления принять по ГОСТ 12.1.003–083 для постоянных рабочих мест в производственных помещениях (ПС–80).

Определяем площадь поверхности источника шума

$$S_{ист} = ((2 \times 4) \times 2 + (2 \times 2) \times 2 + (2 \times 4)) = 32 \text{ м}^2$$

Из конструктивных соображений выбираем кожух с плоскими гранями и определяем площадь его поверхности.

Допустим, что  $S^k = 65 \text{ м}^2$

Затем по формуле (3) рассчитываем требуемую звукоизолирующую способность стенок кожуха.

Таблица 2 – Среднегеометрические частоты, Гц

Величина	Единица измерения	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_p$	дБ	95	110	116	125	130	126	118	120
$L_{доп}$	дБ	99	92	86	83	80	78	76	74
$\Delta L_{эф.тр}$	дБ								
$R_{к.тр}$	дБ								
$\Delta L_{глуш}$	дБ	18	18	20	25	33	38	40	34

Глушители шума, через которые осуществляется доступ воздуха под кожух, встроенные в проемы кожуха, должны обладать эффективностью не ниже  $R_{к.тр}$ . Они подбираются по специальным таблицам. Акустическая эффективность этих глушителей примерно одинакова и приведена в таблице 2.  $\Delta L_{глуш}$ ).

#### Задание

1. Рассчитать требуемую эффективность и звукоизолирующую способность стенок кожуха, по вариантам таблицы 3, где  $l$ ,  $b$ ,  $h$  – длина, ширина и высота машины, м.
2. Результаты расчетов свести в таблицу 2.
3. Сделать выводы.

Таблица 3 – Варианты заданий

Исходные данные	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l$ , м	2	2,5	3	2	2	2	2,5	3	2	2
$b$ , м	1	1,5	2	1,5	2	1,5	2	2	2	2
$h$ , м	3	3	4	2	3	3	3	4	4	3

## Практическая работа №4

### «Расчёт защитного экрана от рентгеновского излучения»

Цель работы: Ознакомление с защитой от рентгеновского излучения с помощью экранов.

Рентгеновское излучение является электромагнитным излучением, возникающем при бомбардировке вещества потоком электронов. Оно представляет собой совокупность тормозного и характеристического излучений с диапазоном энергии квантов 1,0 кэВ–1,0 МэВ в зависимости от величины ускоряющего напряжения между анодом и катодом.

Рентгеновские лучи возникают в любых электровакуумных установках, в которых используются большие напряжения в десятки и сотни киловольт для ускорения электронного пучка (например, в установках рентгенодефектоскопии, рентгенодиагностики, в телевидении, ПЭВМ, а также в некоторых радиоактивных изотопах). Рентгеновское излучение обладает малой ионизирующей способностью и большой глубиной проникновения.

К числу технических средств защиты относятся экраны стационарные и передвижные. При расчете определяют материал экрана и его толщину.

Чем больше плотность вещества, тем больше степень ослабления излучения.

Поэтому чаще всего используют свинец.

На основании расчетных и экспериментальных данных построены таблицы кратности ослабления, а также различные номограммы, позволяющие определять толщину стенки экрана от излучений различных энергий.

#### **Пример расчета свинцового экрана для защиты от рентгеновских лучей.**

Определить толщину свинцового экрана для защиты от рентгеновских лучей излучаемых клистроном. Рассчитанная величина мощности экспозиционной дозы неэкранированного клистрона  $P_{\text{э}} = 2,56 \times 10^3$  мкР/с.

**РЕШЕНИЕ:**

Мощность экспозиционной дозы вблизи защитного экрана не должна превышать 0,27 мкР/с. При этих условиях кратность ослабления “к” определяется по формуле:

$$k = P_{\text{э}} / P_{\text{э доп}},$$

где  $P_{\text{э}}$  – измеренная или рассчитанная мощность экспозиционной дозы в данной точке рабочего пространства;

$P_{\text{э доп}}$  – допустимая мощность экспозиционной дозы

$$k = 2,56 \times 10^3 / 0,27 = 9,4 \times 10^3$$

Из таблицы находим, что толщина свинца для  $k = 9,4 \times 10^3$  и напряжении на аноде  $U = 100$  кВ примерно 2,7 мм.

Таблица 1 – Толщина защитного слоя свинца [мм] для ослабления рентгеновского излучения высоковольтных электронных приборов. Напряжение на аноде электронного прибора кВ.

кратность ослабления “к”	30	40	50	60	70	80	100
2	-	-	-	-	-	0,2	0,2
20	-	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,8
100	-	0,2	0,2	0,4	0,5	1	1,3
1000	0,1	0,3	0,4	0,7	1,0	1,6	1,9
10000	0,2	0,4	0,6	1,1	1,5	2,1	2,7
20000	0,2	0,4	0,7	1,2	1,6	2,3	2,9
50000	0,2	0,4	0,7	1,3	1,8	2,5	3,2

**ЗАДАНИЕ:** Определить толщину свинцового экрана для защиты от рентгеновских лучей.

Величины мощности экспозиционной дозы неэкранированного источника излучения и напряжения на аноде даны в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные по вариантам

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, кВ	100	80	70	60	50	40	30	100	100	80
$P_{\text{э}}$ , мкР/с $\times 10^3$	1,5	2,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	3,5	3,0	4,0

## Практическая работа №5

### «Защита от теплового облучения»

Цель работы: познакомить студента с методикой определения интенсивности тепловых излучений и требованиями к промышленной теплозащите.

#### Общие положения

Все существующие в природе тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля, являются источниками инфракрасного излучения, длины волн которого заключены в пределах 0,77 мкм – 1 мкм.

Количество излучаемой энергии пропорционально четвертой степени температуры тела, т.е.

$$E = \delta \times T^4,$$

где  $T$  – температура поверхности, °К,

$\delta$  – постоянная Стефана Больцмана ( $\delta = 1,38 \times 10^{-10}$  кал/см<sup>2</sup>×с)

В производственных условиях на человека действует инфракрасное излучение, создаваемое открытым пламенем, расплавленным и нагретым металлом, нагретыми поверхностями оборудования, системой искусственного освещения, солнечным светом.

Прогресс техники приводит, как правило, к значительному росту избыточных тепловыделений, особенно в горячих цехах, где избытки явного тепла превышают 20 ккал/м<sup>3</sup>час (233 Вт/м<sup>3</sup>).

Теплонапряженность помещения горячих цехов достигает 290–350 Вт/м<sup>3</sup> (250–300 ккал/м<sup>3</sup>час).

Интенсивность инфракрасного излучения на рабочих местах колеблется в пределах 0,35–15 кВт/м<sup>2</sup> (0,5–22 кал/см<sup>2</sup> мин) при норме не более 0,35 кВт/м<sup>2</sup> (0,5 кал/см<sup>2</sup> мин).

Выполнение трудовых операций при действии инфракрасного излучения и повышенной температуры окружающего воздуха крайне сложно. Поэтому теплозащита рабочих является одной из важнейших задач охраны труда.

#### Методика расчета интенсивности теплового излучения

Расчет производят по формуле теплообмена излучением

$$E = \xi_{np} \times C_0 \times \varphi \times \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \left( \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \times \text{ч}} \right)$$

где  $\xi_{np}$  – приведенная степень черноты, учитывающая неполное поглощение лучистой энергии реальными (серыми) телами и отраженные потоки

$$\xi_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\xi_1} + \frac{1}{\xi_2} - 1},$$

где  $\xi_1$  и  $\xi_2$  – степень черноты излучающего тела и облучаемого человека  $C_0$  – коэффициент, зависящий от физических свойств излучающей поверхности  $\varphi$  – коэффициент облученности (угловой коэффициент), учитывающий влияние расстояния от источника до объекта и показывающий, какая часть лучистого потока от излучающего тела попадает на тело человека, этот коэффициент зависит от относительного расстояния  $1/a$  ( $1$  – расстояние от источника излучения до человека,  $a$  – сторона квадрата или эквивалентный размер излучателя), при близком расположении человека к источнику ( $1 \leq a$ ),  $\varphi = 1$ . Обычно  $\varphi < 1$  (определяется по справочникам),  $T_1$  и  $T_2$  соответственно температура источника излучения и объекта,  $^{\circ}\text{K}$ .

Для приближенных (ориентировочных) расчетов можно использовать упрощенные методы.

Так, если  $1 \geq \sqrt{F}$

$$E = \frac{0,91 \times F \times \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right]}{l^2}, \text{ Вт/м}^2$$

или

$$E = \frac{0,78 \times F \times \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - 100 \right]}{l^2}, \text{ ккал/м}^2 \times \text{ч}$$

если  $1 \leq \sqrt{F}$

$$E = \frac{0,91 \times \sqrt{F} \times \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right]}{l},$$

или

$$E = \frac{0,78 \times \sqrt{F} \times \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right]}{l},$$

где F – площадь излучающей поверхности.

### **Действие инфракрасных лучей на организм человека**

При длительном пребывании человека в зоне действия инфракрасного излучения резко нарушается тепловой баланс организма (ухудшается терморегуляция). Возможны патологические состояния, особенно, когда потери пота приближаются к 5 л в смену. Перегревание (тепловая гипертермия) возникает при избыточном накоплении тепла в организме.

Основной признак – повышение температуры тела до 38 °С и более, обильное потоотделение, слабость, головная боль, головокружение, искажение цветового восприятия предметов (окраска в красный или зеленый цвета), значительное учащение дыхания и пульса, изменение артериального давления, состава крови, шум в ушах, затрудненная речь. В тяжелых случаях гипертермия протекает в виде теплового удара, когда температура тела быстро повышается до 40–41 °С, падает артериальное давление, наблюдается бледность кожи, частый и малый пульс, потоотделение прекращается, человек теряет сознание.

При оказании первой помощи необходимо принять быстрые меры к охлаждению организма – прохладный душ, свежий воздух, покой, ванна.

Другая форма перегревания характеризуется нарушением водносолевого и витаминного обмена и известна под названием судорожная болезнь. Она протекает в форме судорог в различных мышцах, сопровождается большой потерей пота, сгущением крови. Вместе с потом теряется 30 – 40 г NaCl (всего в организме 140 г NaCl). Потери 28–30 г NaCl ведет к прекращению желудочной секреции, а в больших количествах – к мышечным спазмам и судорогам.

Потеря водорастворимых витаминов (С, В1, В2) при сильном потоотделении достигает 15–25 % потребностей суточной дозы.

При оказании первой помощи необходимо ввести в организм физиологический раствор с глюкозой.

При длительном воздействии теплового излучения может развиваться профессиональная катаракта, ухудшается координация движений, снижается производительность труда, возрастает травматизм. Тепловое облучение является основным ОВПФ в горячих цехах. Поэтому задача снижения теплоизлучений и защита рабочих от лучистой энергии – решающая в системе мероприятий по созданию здоровых условий труда.

### **Защита от тепловых воздействий рабочих мест**

Рекомендуются следующие мероприятия по защите рабочих мест от действия инфракрасного излучения:

- Изоляция изучающих поверхностей, создание термического сопротивления на пути теплового потока в виде экранов различных конструкций;
- Использование средств индивидуальной защиты: теплозащитные маски, термозащитная спецодежда, защитные костюмы для горячего ремонта, очки со светофильтрами;
- Удаление рабочего от источника лучистой энергии (дистанционное управление);
- Сокращение времени пребывания рабочего в зоне действия инфракрасного излучения;
- Применение аэрации и воздушного душирования. Устройство воздушного душирования обязательно при тепловом излучении на рабочих местах свыше  $0,5 \text{ кал/см}^2 \times \text{мин}$  или  $0,35 \text{ кВт/м}^2$  (или соответственно  $300 \text{ ккал/м}^2 \times \text{ч}$ ).

При интенсивности инфракрасного излучения свыше  $1 \text{ кал/см}^2 \times \text{мин}$  или  $0,7 \text{ кВт/м}^2$  необходимо применять теплозащитные экраны и средства индивидуальной защиты.

#### **Задание**

1. Рассчитать по вариантам, интенсивность облучения рабочего при открытой дверце печи.

2. Дать предложения по теплозащите и снижению интенсивности облучения.

#### **Исходные данные:**

- а) абсолютная температура газов в печи  $T = 273 + 1200 = 1473 \text{ } ^\circ\text{K}$
- б) расстояние от источника излучения до человека –  $l$ , размеры излучающего отверстия (дверного проема) –  $F = a \times b$  и

продолжительность открывания отверстия на  $t$  мин в течение каждого часа принимается из таблицы по вариантам.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l, \text{ м}$	0,5	0,6	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
$F=a \times b, \text{ м}^2$	0,4×0,6	0,5×0,7	0,4×0,6	0,5×0,8	0,5×0,8	0,4×0,6	0,5×0,7	0,4×0,6	0,5×0,8	0,5×0,7
$t, \text{ мин}$	10	15	10	5	10	10	5	15	20	10

### Пример расчета:

Так, как  $l > \sqrt{F}$

$$E = \frac{0,91 \times F \times \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right]}{l^2},$$

или

$$E = \frac{0,78 \times F \times \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - 100 \right]}{l^2},$$

$$E = \frac{0,91 \times 0,35 \times \left[ \left( \frac{1473}{100} \right)^4 - 110 \right]}{81^2} = 181,7 \text{ Вт/м}^2$$

или

$$E = \frac{0,78 \times 0,25 \times \left[ \left( \frac{1473}{100} \right)^4 - 100 \right]}{81^2} = 139,2 \text{ ккал/м}^2 \times \text{ч}$$

2. Теплопоступление из отверстия печи, открываемого на  $t$  мин в течение каждого часа

$$Q = E \times F \times \frac{t}{60}, \text{ Вт} \quad Q = 184,7 \times 0,35 \times \frac{10}{60} = 10,77 \text{ Вт}$$

3. Сопоставляя значение полученной интенсивности с нормативным (не более  $0,35 \text{ кВт/м}^2$ ) или не более  $300 \text{ ккал/м}^2 \times \text{ч}$ , делаем вывод о сравнительно незначительной интенсивности облучения.

## Практическая работа №6

### «Расчет виброгасящих оснований»

**Цель работы.** Освоить методику расчета виброгасящих фундаментов для строительных машин и силовых установок, обеспечивающих виброзащиту персонала и строительных сооружений.

### 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ИСТОЧНИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВИБРАЦИЙ

Воздействующие на человека производственные вибрации классифицируют следующим образом [1].

- *По способу передачи* на человека различают:

1. общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
2. локальную вибрацию, передающуюся как через руки человека, так и на ноги сидящего человека и предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов.

- *По источнику возникновения* вибраций различают:

3. локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;
4. локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного немеханизированного инструмента (без двигателей), например, рихтовочных молотков разных моделей и обрабатываемых деталей;
5. общую вибрацию 1 категории – транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности,

агрофонам и дорогам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относят: тракторы сельскохозяйственные и промышленные, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны); автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т.д.); снегоочистители, самоходный горно–шахтный рельсовый транспорт;

- общую вибрацию 2 категории – транспортно–технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно–технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные), краны промышленные и строительные, машины для загрузки (завалочные) мартеновских печей в металлургическом производстве; горные комбайны, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;

- общую вибрацию 3 категории – технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло– и деревообрабатывающие, кузнечно–прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме

бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и др.

Общую вибрацию категории 3 *по месту действия* подразделяют на следующие типы:

- на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;
- на рабочих местах на складах, в бытовых, дежурных и других производственных помещениях, где нет машин, генерирующих вибрацию;
- на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда.

3. *По направлению действия* вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат:

- локальную вибрацию подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат  $X_L$ ,  $Y_L$ ,  $Z_L$ , где ось  $X_L$  параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, ложементы, рулевого колеса, рычага управления, и т.п.), ось  $Y_L$  перпендикулярна ладони, а ось  $Z_L$  лежит в плоскости, образованной осью  $X_L$  и направлением подачи или приложения силы (рис. 1а);
- общую вибрацию подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ , где ось  $X_0$  (от спины к груди) и  $Y_0$  (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям;  $Z_0$  – вертикальная

ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т.п. (рис. 1б).



Рис.1. Направление координатных осей при действии вибрации

## 2. ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

При воздействии вибрации на человека существуют опасные, резонансные частоты. И если внешние силы воздействуют на человека с частотами, близкими или равными резонансным, то резко возрастает амплитуда колебаний как всего тела, так и отдельных его органов.

Для человека резонанс наступает:

- руки и ноги при частоте 2 – 8 Гц;
- живот и кишечник – 2 – 3 Гц;
- грудная клетка – 2 – 12 Гц;
- для головы – 12 – 27 Гц;
- для глазных яблок – 60 – 90 Гц;
- в положении сидя – 4 – 6 Гц;
- в положении стоя – 5 – 12 Гц и 17 – 25 Гц.

При этих частотах интенсивная вибрация может привести к травматизации позвоночника и костной ткани, расстройству зрения, у женщин – вызвать преждевременные роды.

Колебания вызывают в тканях органов переменные механические напряжения. Информация о действующей вибрации воспринимается вестибулярным аппаратом.

При широком спектре воздействующих на человека вибраций вестибулярный аппарат может передавать ложную информацию. Такая ложная информация вызывает состояние укачивания, дезорганизует работу многих систем организма.

Воздействие вибрации на организм человека определяется уровнем виброскорости и виброускорения, диапазоном действующих частот, индивидуальными особенностями человека. За нулевой уровень виброскорости принята величина  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с, виброускорения –  $3 \cdot 10^{-4}$  м/с<sup>2</sup>, рассчитанные по порогу чувствительности организма человека.

Длительное воздействие на человека вибрации ведет к вибрационной болезни. Вибрационная патология занимает 2 – е место после пылевых, среди профессиональных заболеваний. Гигиеническое нормирование вибраций регламентируют документы ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность», СН – 2.2. 4/2.1.8. 556 – 96 «Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

В зависимости от степени воздействия на организм человека выделяют 4 стадии развития вибрационной болезни:

1. На первой стадии симптомы незначительные: боль в руках, спазмы капилляров, боли в мышцах плечевого пояса.

2. На второй стадии усиливаются боли в руках, происходит расстройство чувствительности, понижается температура, синееет кожа кистей рук.

При условии исключения влияния вибрации на человека на первой и второй стадии лечение эффективно и изменения обратимы.

Третья четвертая стадии характеризуются интенсивными болями в руках, резким снижением температуры кистей рук. Происходят изменения в нервной и эндокринной системах, а также сосудистые изменения. На этих стадиях нарушения приобретают генерализованный характер.

Больные страдают головокружением, головными и за грудными болями. Изменения имеют стойкий характер, необратимы.

### **3. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИИ**

Разработка мероприятий по защите от вибраций рабочих мест должна начинаться на стадии разработки плана производственного помещения и проектирования технологического процесса конкретного производства. Уменьшить воздействие вибрации от работающего оборудования можно путем виброизоляции и динамического виброгашения. Эти методы направлены на приведение общей вибрации до допустимых значений.

*Виброизоляция* – способ, при котором уменьшение передачи динамической силы от машины к основанию, а также уменьшение вибраций, передаваемых от основания к рабочим местам, достигается посредством размещения между ними упругих элементов

(виброизоляторов и амортизаторов). Установка машины на упругие опоры практически не ослабляет вибрации самой машины, но уменьшает передачу вибраций на поддерживающую конструкцию из-за поглощения части энергии упругим элементом при его деформации и, следовательно, уменьшает вибрацию рабочих мест.

*Динамическое виброгашение* – способ, при котором уменьшить колебания, передаваемые на рабочие места и строительные конструкции от динамически неуравновешенных машин (виброплощадок, дробилок, грохотов, мельниц, вентиляторов, силовых установок и т.п.), возможно путем их установки на массивные виброгасящие основания, т.е. фундаменты, масса которых существенно может превышать массу машины (механизма), создающей вибрацию. Энергия колебаний поглощается массой фундамента, за счет чего резко снижается передача колебаний в окружающую среду. По этой причине фундаменты должны удовлетворять условиям прочности и устойчивости и требуют специальных расчетов.

Эффективность виброгашения существенно повышается, если в жесткую систему ввести дополнительно упругую связь, т.е. осуществить комбинацию двух этих методов. Однако в любом случае предлагаемые мероприятия должны обеспечить предельно допустимый уровень вибрации.

*Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации* – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе

работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ вибрации не исключает нарушение здоровья у сверхчувствительных лиц.

В качестве средств индивидуальной защиты от вибрации используют специальную обувь на массивной резиновой подошве, рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов. При работе в условиях воздействия общей вибрации под ноги рабочему ставится специальная виброгасящая (амортизирующая) площадка. При воздействии местной вибрации (чаще на руки) рукоятки и другие вибрирующие части машин и инструмента (например, пневмомолоток), соприкасающиеся с телом рабочего, покрываются резиной или другим мягким материалом.

#### 4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИБРОГАСЯЩЕГО ОСНОВАНИЯ

Рассмотрим методику расчета фундамента [2, 3, 4] под двухвальную виброплощадку с вертикально направленными колебаниями (рис.2).

Исходными данными для расчета являются:

- грузоподъемность площадки –  $m$ , т;
- общий вес виброплощадки –  $Q$ , Н;
- вес подвижных частей виброплощадки –  $Q_{пч}$ , Н;
- размер площадки в плане –  $A \times B$ , см;
- максимальный кинетический момент дебалансов –  $M_k$ , Н · см;
- статическая осадка стальных пружин –  $\lambda_{ст}$ , см;
- частота вибрирования –  $f$ , Гц;

- допускаемое нормативное давление на грунт –  $R_{дон}, Па$ ;
- коэффициент упругого равномерного сжатия грунта –  $c_z, Н/см^3$ .

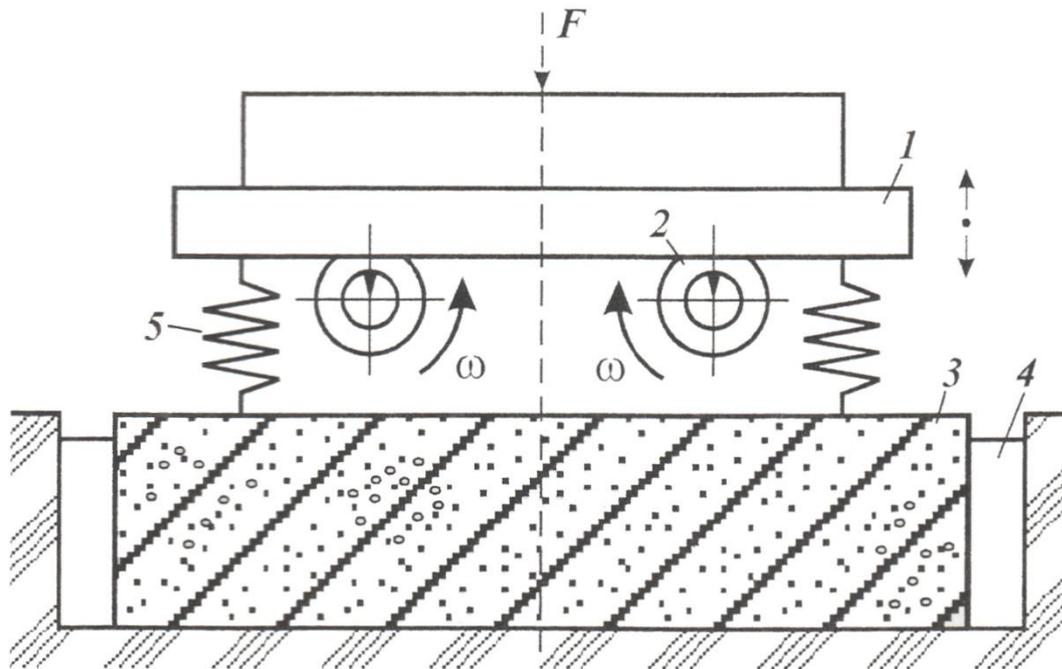


Рис.2. Схема установки динамически неуравновешенной машины на фундамент: 1 – виброплощадка; 2 – дебалансные вибраторы; 3 – фундаментный блок; 4 – акустический шов; 5 – стальные пружины

Фундамент устанавливают на грунт с заданными характеристиками: коэффициентом упругого равномерного сжатия и допускаемым нормативным давлением на грунт. Виброизоляция выполнена в виде цилиндрических стальных пружин, имеющих статическую осадку под действием собственного веса площадки и груза.

Допускаемые амплитуды виброперемещения назначаются по ГОСТ 12.1.012–2004 в зависимости от частоты  $f$  гармонической составляющей силы, возбуждающей колебание системы. Допускаемое значение амплитуды виброперемещения  $a_{дон}$  на постоянных рабочих местах в

производственных помещениях с виброустановками при частоте гармонических колебаний  $f = 50 \text{ Гц}$  составляет  $0,009 \text{ мм}$ .

Расчет фундамента сводится:

1. к проверке амплитуд виброперемещения  $\alpha_\phi$  вынужденных колебаний фундамента;
2. к проверке собственной частоты колебаний фундамента  $f_\phi$  (собственная частота колебаний фундамента должна отличаться от частоты вынужденных колебаний  $f$  не менее чем в 1,5 раза, т.е.  $f_\phi \leq 33,3 \text{ Гц}$ );
3. к определению давления, передаваемого фундаментом и всей установкой на грунт по допустимому нормативному давлению  $R_{дон}$ .

Необходимые расчеты проводятся в несколько этапов:

1. Нормативную динамическую нагрузку  $N$  от виброплощадки, возбуждаемую механическими вибраторами с вращающимися эксцентричными массами (дебалансами), определяют по формуле:

$$N = \frac{M_k \cdot \omega^2}{g}, \quad \text{Н}, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{см}/\text{с}^2$  ( $g = 981 \text{ см}/\text{с}^2$ );

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  – круговая частота возбуждаемых колебаний,  $\text{с}^{-1}$ .

2. Суммарная жесткость всех пружин рассчитывается по следующей формуле:

$$K = Q_{нч} / \lambda_{ст}, \quad \text{Н}/\text{см}, \quad (2)$$

3. Собственная круговая частота вертикальных колебаний подпружиненных частей виброплощадки определяется как:

$$\omega_0 = \sqrt{K / m_{нч}}, \quad \text{с}^{-1}, \quad (3)$$

$$m_{нч} = Q_{нч} / g, \quad \text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{см}, \quad (4)$$

4. Динамическая нагрузка, передающаяся на фундамент, вычисляется по формуле:

$$N_{\dot{\varphi}} = N \cdot \mu, \quad H, \quad (5)$$

где  $\mu$  – коэффициент передачи, оценивающий качество виброизоляции и определяется из соотношения:

$$\mu = \frac{1}{(\omega/\omega_0)^2 - 1}. \quad (6)$$

5. Исходя из норм проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками [5] конструктивно назначается площадь фундамента  $S$  и его масса  $m_{\dot{\varphi}}$ . В первом приближении вес фундамента задается в два раза больше общего веса виброплощадки  $Q_{общ}$

$$Q_{\dot{\varphi}} = 2 \cdot Q_{общ}, \quad H, \quad (7)$$

Масса фундамента:

$$m_{\dot{\varphi}} = Q_{\dot{\varphi}}/g, \quad H \cdot c^2/cm, \text{ кг}, \quad (8)$$

а площадь соответствует размерам площадки:

$$S_{\dot{\varphi}} = A \cdot B, \quad cm^2, \quad (9)$$

6. Коэффициент жесткости естественного основания под фундаментом при заданных характеристиках грунта рассчитывается по формуле:

$$K_z = S_{\dot{\varphi}} \cdot c_z, \quad H/cm, \quad (10)$$

7. Круговая частота собственных вертикальных колебаний фундамента составит:

$$\omega_{\dot{\varphi}} = \sqrt{K_z/m_{\dot{\varphi}}}, \quad c^{-1}, \quad (11)$$

8. Амплитуда перемещения фундамента под действием динамической силы окончательно составит:

$$\alpha_{\dot{\varphi}} = \frac{N_{\dot{\varphi}}}{K_z((\omega/\omega_0)^2 - 1)}, \quad \text{мм}, \quad (12)$$

Полученное значение  $\alpha_{\dot{\varphi}}$  следует сравнить с нормативным  $\alpha_{\text{дон}}$ , при этом должно выполняться условие  $\alpha_{\dot{\varphi}} \leq \alpha_{\text{дон}}$ .

Пример.

Грузоподъемность площадки 4,7 т; общий вес виброплощадки 74300 Н; вес подвижных частей виброплощадки 62790 Н; размер площадки в плане 720 × 270 см; максимальный кинетический момент дебалансов 2800 Н·см; статическая осадка стальных пружин 0,4 см; частота вибрирования 50 Гц; грунт 1.

$$1. \quad N = \frac{2800 \cdot 314^2}{981} = 281415,7 \text{ Н},$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ с}^{-1}$$

$$2. \quad K = 62790/0,4 = 156975 \text{ Н/см},$$

$$3. \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{156975}{64}} = 49,5 \text{ с}^{-1},$$

$$m_{\text{нч}} = 62790/981 = 64 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{см},$$

$$4. \quad N_{\dot{\varphi}} = 281415,7 \cdot 0,026 = 7316,8 \text{ Н},$$

$$\mu = \frac{1}{(314/49,5)^2 - 1} = 0,026$$

$$5. \quad Q_{\dot{\varphi}} = 2 \cdot 74300 = 148600 \text{ Н},$$

$$m_{\dot{\varphi}} = 148600/981 = 151,5 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{см}, \text{ кг},$$

$$S_{\dot{\varphi}} = 720 \cdot 270 = 194400 \text{ см}^2,$$

$$6. \quad K_z = 194400 \cdot 60 = 11664000 \text{ Н/см},$$

$$7. \quad \omega_{\phi} = \sqrt{11664000/151,5} = 277,5 \text{ с}^{-1},$$

$$8. \quad \alpha_{\phi} = \frac{7316,8}{11664000((314/277,5)^2 - 1)} = 0,002 \text{ мм.}$$

Условие  $\alpha_{\phi} \leq \alpha_{дон}$  выполняется.

## 5. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ И ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

1. Исходные данные для расчета выбираются согласно выданному преподавателем номеру варианта из таблица 1, таблица 2 и рисунок 3. Для выбранного типа грунта в качестве величины допускаемого нормативного давления на грунт выбирается среднее значение диапазона в таблица 2.

Таблица 1– Варианты заданий

	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Грунт</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>t, т</i>	5	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,9	7,2	7,5	7,9
<i>Q<sub>общ, Н</sub></i>	74200	74100	74000	73900	73800	73700	73600	73500	73400	73300
<i>Q<sub>нч, Н</sub></i>	62780	62660	62540	62480	62350	62280	62160	62220	62360	61980
<i>A, см</i>	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720
<i>B, см</i>	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270
<i>M<sub>к</sub></i>	2800									
<i>λ<sub>ст, см</sub></i>	0,4									
<i>f, Гц</i>	50									

Продолжение таблицы 1

	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Грунт</i>	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>m, т</i>	8,2	8,5	8,9	9,2	9,5	9,9	8,5	8,9	9,2	9
<i>Q<sub>общ</sub>, Н</i>	73200	73100	73000	72900	72800	72700	72600	72500	72400	72300
<i>Q<sub>нч</sub>, Н</i>	61480	61350	62340	62540	61520	62870	67280	61230	62670	62810
<i>A, см</i>	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820
<i>B, см</i>	280	290	300	310	320	330	340	310	360	330
<i>M<sub>к</sub></i>	4200									
<i>λ<sub>ст</sub>, см</i>	0,5									
<i>f, Гц</i>	50									

2. В соответствии с приведенной выше методикой проводится расчет виброгасящего основания, удовлетворяющего требованиям на допускаемую амплитуду виброперемещения, на собственную частоту колебаний фундамента и давление на грунт.

3. Для рассчитанных согласно п.2 площади фундамента  $S$  и его массы  $m_{\phi}$  строятся графики зависимостей  $\alpha_{\phi} = \alpha_{\phi}(c_z)$  и  $f_{\phi} = f_{\phi}(c_z)$ . Величина  $c_z$  изменяется в диапазоне  $20 \dots 70 \text{ Н/см}^3$  с шагом  $10 \text{ Н/см}^3$ . Далее по графикам определяются типы грунтов, удовлетворяющих условиям на допустимые значения для амплитуды виброперемещения и собственной частоты колебаний фундамента.

Таблица 2 – Допускаемые нормативные давления на грунт

Вариант	Грунт	$R_{доп}, 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$
Пески независимо от влажности		
1	Крупные	3,5...4,5
2	Средней крупности	2,5...3,5
Пески мелкие		
3	Маловлажные	2...3
Пески пылеватые		
4	Маловлажные	2...2,5
5	Очень влажные	1,5...2
6	Насыщенные водой	1...1,5
Суспеси при коэффициенте пористости:		
7	0,5	3
8	0,7	2
Суглинки при коэффициенте пористости		
9	0,5	2,5...3
10	0,7	1,8...2,5
11	1	1...2

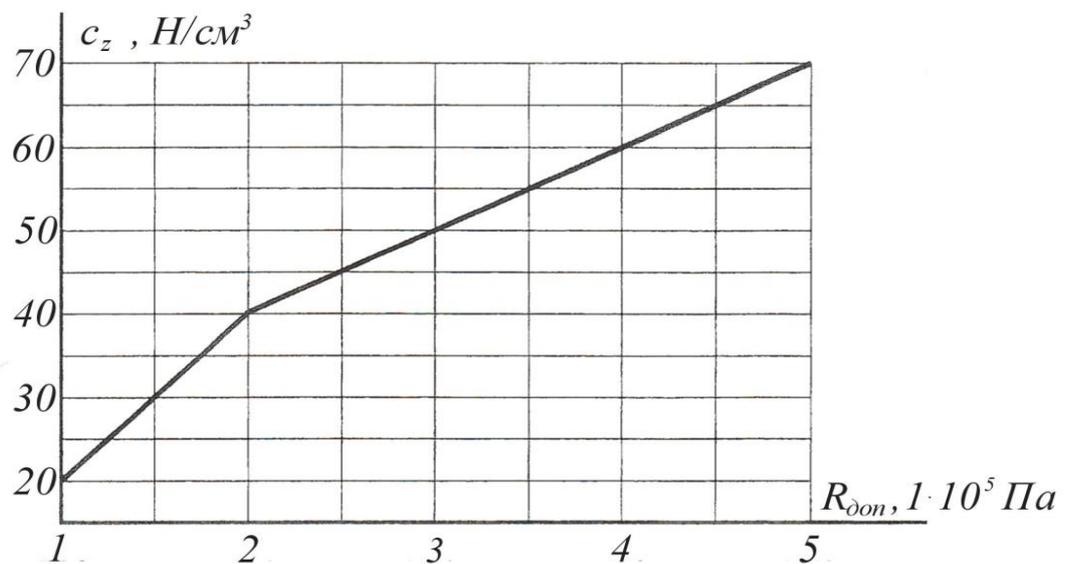


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента упругого равномерного сжатия грунта от допускаемого нормативного давления на грунт

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.

3. Ответы на контрольные вопросы.
4. Расчет виброгасящего основания для заданного типа грунта и графики зависимостей
5. Выводы, в которых определяются допустимые типы грунтов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: СН 2.2.4/2.1.8.566–96.– М.:Информационно–издательский центр Минздрава России, 1997. – 30 с.
2. Инженерные решения по охране труда в строительстве / Г.Г. Орлов, В.И. Булыгин, Д.В. Виноградов и др.; Под ред. Г.Г. Орлова. – М.: Стройиздат, 1985. – 278 с., ил.
3. Пчелинцев В.А. Охрана труда в строительстве: Учеб. для строит. вузов и фак. – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.: ил.
4. Охрана труда в строительстве. Инженерные решения: Справочник / В.И. Русин, Г.Г. Орлов, Н.М. Неделько и др. – К.: Будивэльнык, 1990.–208 с.
5. Фундаменты машин с динамическими нагрузками: СНиП 2.02.05–87 / Госстрой России. – ГУП ЦПП, 1997. –32 с.
6. Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л., Сердюк Н.И.. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. – М.: Высшая школа, 2002. – 316 с.
7. Салов А.И.. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
8. Охрана труда в машиностроении / под ред. Е.Я.Юдина. – М.: Машиностроение, 1976. – 335 с.
9. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ, Шум. Общие требования безопасности.
10. Борьба с шумом на производстве. Справочник под редакцией Е.Я.Юдина, М.1985