

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»  
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой  
«ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Протокол № \_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.  
Автор: Мартынюк Ирина Алексеевна

**ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ  
УКАЗАНИЯМИ**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Уровень ВО:** *Бакалавриат*

**Форма обучения:** *Заочная*

**Курс:** *3*

**Специальность/Направление:** *23.03.01 Технология транспортных процессов (ТПб)*

**Специализация/Профиль/Магистерская программа:** *(ТЕ) Организация перевозок и управление в единой транспортной системе*

Москва

Составители: к.б.н., доц. И.А. Мартынюк;  
Рецензент: к.т.н, доц. С.В. Рассказов

## **ВВЕДЕНИЕ**

В процессе изучения дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» на втором курсе студенты выполняют одну контрольную работу. Основная цель - является выработка приемов и навыков решения контрольных задач из разных областей безопасности жизнедеятельности, позволяющих проверить степень усвоения основных разделов теоретического курса, помогающих в дальнейшем студентам решать инженерные задачи.

При разработке пособия использован многолетний опыт преподавания дисциплины «БЖД» кафедрой «Техносферная безопасность», а также материалы кафедр: «Безопасность жизнедеятельности», «Охрана труда» и «Практическая техника безопасности» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.

В задании приведены примеры решения типовых задач, непосредственно связанных с безопасностью производимых работ на предприятиях железнодорожного транспорта. При этом в пособии отражены практически все основные разделы дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» в соответствии с типовой программой курса.

### **1. Общие требования к оформлению контрольных работ**

При оформлении контрольных работ условия задач в контрольных работах переписываются полностью, без сокращений.

Решения задач должны сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями с обязательным использованием рисунков, выполненных чертежными инструментами.

Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля и интервалы между задачами (не менее 5 см).

В конце каждой контрольной работы необходимо указать, каким учебным пособием пользовался студент (название учебного пособия, автор, год издания).

Решение задач рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Ввести буквенные обозначения всех используемых физических величин.
2. Под рубрикой «Дано» кратко записать условие задачи с переводом значений всех величин в систему единиц СИ.
3. Сделать (если это необходимо) чертеж, поясняющий содержание задачи и ход решения.
4. Сформулировать законы, на которых базируется решение задачи, и обосновать возможность их использования.

5. На основе сформулированных законов и различных нормативов составить уравнение или систему уравнений, решая которую можно найти искомые величины.

6. Решить уравнение и получить в общем виде расчетную формулу, в левой части которой стоит искомая величина, а в правой - величины, данные в условии задачи.

7. Проверить единицы измерения полученных величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить ее правильность.

8. Произвести вычисления. Для этого необходимо все значения величин в единицах СИ подставить в расчетную формулу и выполнить вычисления (с точностью не более 2-3 значащих цифр).

9. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти.

Выполненные контрольные работы сдаются на рецензию преподавателю не позднее, чем за одну неделю до экзамена.

После рецензирования вносятся исправления в решение задач в соответствии с замечаниями преподавателя. Исправленные решения помещаются в конце тетради с контрольными работами, которые сдаются на повторную рецензию.

Зачет по каждой контрольной работе принимается преподавателем в процессе собеседования по правильно решенной и прорецензированной контрольной работе.

Контрольные работы выполняются в тетради, на обложке которой приводятся сведения о студенте (фамилия, имя, отчество, факультет, шифр, номер специальности), а также номер контрольной работы, номер варианта и номера всех задач контрольной работы.

**Номер темы выбирается по таблице 1 по пересечению строчки, определяемой последней цифрой шифра студента, и столбца, определяемого предпоследней цифрой шифра**

**Например: шифр студента 314 -ЭК-3683, строчка -3, столбец - 8, номер контрольной работы - 8.**

**ЗАДАЧИ РЕШАЮТСЯ БЛОКАМИ. В КАЖДОМ БЛОКЕ СТУДЕНТ РЕШАЕТ ПО 1-й ЗАДАЧЕ СВОЕГО ВАРИАНТА**

Таблица 1

последняя цифра шифра студента	предпоследняя цифра шифра студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	5	6	1	11	6	1	5	6	1
1	2	4	7	2	12	7	2	4	7	2
2	3	3	8	3	13	8	3	3	8	3
3	4	2	9	4	14	9	4	2	9	4
4	5	1	10	5	15	10	5	1	10	5
5	6	15	11	6	1	11	6	15	11	6
6	7	14	12	7	2	12	7	14	12	7
7	8	13	13	8	3	13	8	13	13	8
8	9	12	14	9	4	14	9	12	14	9
9	10	11	15	10	5	15	10	11	15	10

**ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ**

**Методические указания к выполнению контрольной работы**

В контрольную работу включены задачи по темам: «Электробезопасность», «Защита атмосферного воздуха», «Защита от вибрации», «Защита от шума», «Вентиляция и отопление», «Безопасность в строительстве», «Пожарная безопасность», «Защита в ЧС», «Радиационная безопасность», «Освещение».

Тема «Электробезопасность» представлена 10 примерами задач на темы: расчет защитного заземления, расчет зануления на отключающую способность, расчет величины тока, проходящего через тело человека, при различных сопротивлениях изоляции, расчет устройств защитного отключения, технические способы защиты в самоходных грузоподъемных кранах, расчет величины тока, проходящего через тело человека, при различных сопротивлениях изоляции.

Тема «Защита атмосферного воздуха» рассматривает: валовый выброс загрязняющих веществ (ЗВ) и представлена 10 примерами задач.

В теме «Защита от вибрации» представлены задачи, позволяющие рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание. В блоке приведены 10 примеров решений задач.

Тема «Защита от шума». Уменьшение воздействия шума на работающего, до допустимых величин является одним из неперенных условий оздоровления условий труда и повышения его производительности. Будущие специалисты по безопасности жизнедеятельности, должны уметь рассчитывать

уровни шумового воздействия на работников. В теме приведены 10 примеров решений задач.

Тема «Отопление» предназначено для изучения обеспечения нормируемых температурных условий в рабочих зонах производственных помещений. Тема представлена примерами решений 15 задач.

Тема «Строительная безопасность» рассматривает задачи строительства, которое является одной из самых травмоопасных отраслей производства.

Тема «Пожарная безопасность» предназначена для изучения разных видов пожарной опасности. В ней приводятся примеры решения задач по темам: молниезащита, пожарная безопасность на подвижном составе, защита от статического электричества, электропожаробезопасность.

Тема «Защита в чрезвычайных ситуациях» рассматривает актуальные вопросы перевозки грузов. Ежедневно по железным дорогам России перевозятся тысячи тонн опасных грузов. Это сильнодействующие ядовитые, взрывчатые и пожаро- и взрывоопасные вещества.

Тема «Радиационная безопасность» позволяет будущим специалистам научиться исключить вредное воздействие ионизирующего излучения на организм человека.

В задании на выполнение контрольных работ даны краткие сведения из теории по разделам «Электробезопасность», «Защита атмосферного воздуха», «Защита от вибрации», «Защита от шума», «Отопление и вентиляция» курса «Безопасность жизнедеятельности», примеры решения задач, приведен необходимый справочный материал.

Учебное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов всех специальностей и форм обучения, изучающих дисциплины «Безопасность жизнедеятельности», «Охрана труда» и «Инженерная защита окружающей среды», выполняющих контрольные, индивидуальные работы и раздел дипломного проекта, а также может быть полезно для инженерно-технических работников и слушателей центра переподготовки и повышения квалификации.

## 1. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Широкое использование электрооборудования во всех отраслях народного хозяйства, в том числе и на железнодорожном транспорте, привело к значительному увеличению количества лиц, связанных с его эксплуатацией.

В связи с этим вопросы безопасности труда при эксплуатации электрооборудования приобретают особое значение. Обеспечению безопасных условий труда на производстве уделяется большое внимание.

Проблемы повышения электробезопасности решаются повседневным улучшением условий труда, совершенствованием мер защиты персонала и других лиц, занимающихся эксплуатацией электроустановок, от поражения электрическим током, созданием новых средств защиты с учетом достижений в области электробезопасности [1–11].

Анализ несчастных случаев, сопровождающихся временной утратой трудоспособности пострадавшими, показывает, что количество травм, вызванных электрическим током, сравнительно невелико и составляет 0,5...1,0 % от общего количества несчастных случаев на производстве. В электроэнергетике, где большая часть работающих связана с эксплуатацией электрооборудования, удельный вес электротравм в общем количестве несчастных случаев несколько выше 3,0...3,5 %, но также невелик.

Если же рассматривать только несчастные случаи со смертельным исходом, то из общего их количества на производстве 20...40 % (а в энергетике до 60 %) происходит в результате поражения электрическим током, что значительно больше, чем по какой-либо иной причине, причем 75...80 % смертельных поражений током происходит при работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

Последнее обстоятельство объясняется широким распространением таких электроустановок и тем, что с ними имеют дело практически все лица, работающие на производстве, в то время как электроустановки напряжением выше 1000 В обслуживает сравнительно малочисленный высококвалифицированный персонал [12, 13].

Не меньшую опасность представляют и бытовые электроустановки [14, 17].

## 1.1. Расчет защитного заземления

Исходные данные для расчета:

- суммарная мощность трансформаторов или генератора, питающих сеть, к которой подключена электроустановка, и режим работы нейтрали;
- план электроустановки с указанием основных размеров и размещения оборудования;
- формы и размеры электродов, из которых предусмотрено соорудить групповой заземлитель, а также предполагаемая глубина погружения их в землю;
- данные измерений удельного сопротивления грунта на участке, где должен быть сооружен заземлитель, сведения о погодных условиях, при которых проводились эти измерения, и характеристика климатической зоны;
- данные о естественных заземлителях: какие сооружения могут быть использованы для этой цели; схема; размеры; конструкция элементов, которые будут использованы в качестве заземлителей.

Сопротивление растеканию тока естественных заземлителей  $R_e$  определяют расчетом по формулам, полученным для искусственных заземлителей аналогичной формы, или непосредственным измерением, а если естественные заземлители находятся на глубине промерзания, то результат измерения или вычисления умножают на коэффициент безопасности.

Требуемое значение сопротивления заземляющего устройства определяют исходя из нормированного значения.

Расчет требуемого значения сопротивления искусственного заземлителя выполняется в следующей последовательности.

1. Определяем сопротивление одиночного трубчатого заземлителя

$$R_{\text{ТР}} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi\ell} \left( \ln \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h_{\text{T}} + \ell}{4h_{\text{T}} - \ell} \right) \quad (1.1)$$

или

$$R_{\text{ТР}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{расч}}}{\ell} \left( \lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{h_{\text{T}} + 0,75\ell}{h_{\text{T}} + 0,25\ell} \right). \quad (1.2)$$

где  $\rho_{\text{расч}}$  – расчетное значение удельного сопротивления однородного грунта,

$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{ТАБЛ}} \Psi$ , Ом·см;  $h_{\text{T}}$  – глубина забивки заземляющего устройства, см;

$\rho_{\text{ТАБЛ}}$  – удельное сопротивление грунта (определяется по

табл. 1.1);  $\Psi$  – коэффициент безопасности, зависящий от климатической зоны (табл. 1.2);  $\ell$  и  $d$  – соответственно длина и диаметр заземлителя, см.

Таблица 1.1 Удельное сопротивление однородного грунта

Вид грунта	Удельное сопротивление грунта для предварительных расчетов, Ом · см			
Глина	$0,5 \cdot 10^4$			
Чернозем	$2 \cdot 10^4$			
Суглинок	$1 \cdot 10^4$			
Песок	$5,0 \cdot 10^4$			
Тип заземлителя	Значение по климатическим зонам			
	I	II	III	IV
Стержневые электроды длиной 1,8–5,0 м при глубине залегания 0,5–0,8 м	2,0...1,4	1,8...1,3	1,4...1,2	1,0...0,8

Таблица 1.2 Значения повышающего коэффициента  $\Psi$  по климатическим зонам для нормальной влажности грунта

2. Определяем число заземлителей, шт.

$$n = \frac{R_{ТР}}{R_{доп}} \quad (1.3)$$

где  $R_{доп}$  – допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

3. Уточняем число заземлителей, шт., с учетом коэффициента использования заземления  $\eta_z$ ,

$$n_z = \frac{R_{ТР}}{R_{доп}} \eta_i \quad (1.4)$$

где  $\eta_i$  – коэффициент использования заземлителя, определяется по табл. 1.3.

Таблица 1.3 Коэффициент использования  $h_{и}$  для вертикальных заземлителей

Для заземлителей, расположенных в ряд			Для заземлителей, расположенных по контуру		
Отношение расстояния к длине заземлителя $a/\ell$	Число труб, $n$	$h_{и}$	Отношение расстояния к длине заземлителя $a/\ell$	Число труб, $n$	$h_{и}$
2	2	0,910	2	4	0,780
	3	0,860		6	0,730
	5	0,810		10	0,680
	10	0,740		20	0,630
	15	0,690		40	0,58
	20	0,670		60	0,580

4. Определяем общее сопротивление вертикальных заземлителей  $R_{ТР-РАСЧ}$ , Ом,

$$R_{ТР-РАСЧ} = \frac{R_{ТР}}{n_з} \quad (1.5)$$

5. Определяем длину полосы  $L$ , см, соединяющей трубы:

- для заземлителей, расположенных в ряд

$$L = 1,05 a (n_з - 1); \quad (1.6)$$

- для заземлителей, расположенных по контуру

$$L = 1,05 a n_з. \quad (1.6a)$$

6. Определяем сопротивление полосы  $R_{П}$ , Ом, уложенной на глубину  $h_{п}$

$$R_{П} = \frac{\rho_{расч}}{2\pi\ell} \ln \frac{2L^2}{Bh_{п}}, \quad (1.7)$$

или

$$R_{П} = 0,366 \frac{\rho_{расч}}{L} \lg \frac{2L^2}{Bh_{п}}, \quad (1.8)$$

где  $B$  – ширина полосы, см, принимаем равной диаметру заземляющих труб, т.е.  $B = d$ .

7. Определяем сопротивление полосы  $R_{\text{п}}$ , Ом, с учетом экранирования

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{п}}}{\eta_{\text{п}}}, \quad (1.9)$$

где  $\eta_{\text{п}}$  – коэффициент использования полосы, определяем по табл. 1.4.

Таблица 1.4 Коэффициент использования заземлителя для полосы

Отношение расстояния между заземлителями к их длине $a/\ell$	Для заземлителей, расположенных в ряд		Для заземлителей, расположенных по контуру	
	Число труб $n$ , шт.	Коэффициент использования $\eta_{\text{п}}$	Число труб $n$ , шт.	Коэффициент использования $\eta_{\text{п}}$
2	4	0,890	4	0,550
	5	0,860	6	0,480
	8	0,790	8	0,430
	10	0,750	10	0,400
	20	0,569	20	0,320
	30	0,460	30	0,300
	50	0,360	50	0,280
	60	0,270	60	0,270

8. Определяем сопротивление растеканию сложного заземления, Ом,

$$R_{\text{СТ}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{ТР.РАСЧ}}} + \frac{1}{R_{\text{п}}}}. \quad (1.10)$$

### Примеры решения задач

**Задача 1.1.** Определить сопротивление растеканию сложного заземления, состоящего из вертикальных стержневых заземлителей и горизонтальной полосы, соединяющей их в контур. Их размеры и размещение в земле показаны на рис. 1.1,  $R_{\text{доп}} = 4$  Ом.

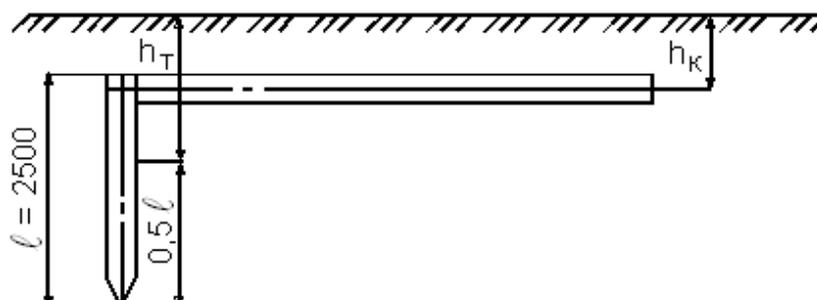


Рис. 1.1. Размещение сложного заземлителя в земле

**Решение.** По условиям задачи определяем:

- сопротивление трубчатого заземлителя

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi\ell} \ln \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2\ln 4h_T} + \frac{\ell}{4h_T - \ell},$$

$$R_{\text{ТР}} = \frac{10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 250} \ln \frac{2 \cdot 250}{6} + \frac{1}{2\ln 4 \cdot 195} + \frac{250}{4 \cdot 195 - 250} = 30,2 \text{ Ом};$$

- число заземлителей, шт.,

$$n = \frac{R_{\text{ТР}}}{R_{\text{доп}}}, n = \frac{30,2}{4} = 7,55 \approx 8;$$

– число заземлителей с учетом коэффициента использования заземлителя  $n_3$ , шт.,

$$n_3 = \frac{8}{0,705} = 1,35 \approx 12;$$

– общее сопротивление вертикальных заземлителей  $R_{\text{ТР.РАСЧ}}$

$$R_{\text{ТР.РАСЧ}} = \frac{30,2}{12} = 2,5 \text{ Ом};$$

– длину полосы

$$L = 1,05 \cdot 2 \cdot 250 \cdot 12 = 6300 \text{ см};$$

– сопротивление полосы  $R_{\Pi}$ , уложенной на глубину  $h_{\Pi}$ ,

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi\ell} \ln \frac{2L^2}{Bh_{\Pi}},$$

$$R_{\Pi} = \frac{10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 6300} \ln \frac{2 \cdot 6300^2}{6 \cdot 70} = 3 \text{ Ом};$$

– сопротивление полосы  $R'_{\Pi}$  с учетом экранирования, Ом,

$$R'_n = \frac{R_{\Pi}}{h_n},$$

$$R_{\Pi} = \frac{3}{0,384} = 7,8 \text{ Ом};$$

– сопротивление растеканию сложного заземлителя

$$R_{\text{СТ}} = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{1}{7,8}} = 1,9 \text{ Ом.}$$

Полученная величина сопротивления растеканию контура заземления ниже нормативного значения ( $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$ ).

**Задача 1.2.** Рассчитать повторное заземление у конца воздушной линии напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью. Мощность питающего трансформатора – 100 кВА, грунт – чернозем; климатическая зона – III.

**Решение.** В соответствии с ПУЭ [11] сопротивление повторного заземления при мощности питающего трансформатора 100 кВА не должно превышать 10 Ом. Удельное сопротивление чернозема принимаем равным  $2 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Повышающий коэффициент  $\gamma$  для III климатической зоны и вертикальных заземлителей составляет 1,4; для горизонтальных – 2 (см. табл. 1.2).

В качестве вертикальных заземлителей принимаем уголок 60 х 60 х 6 мм длиной 2,5 м. Сопротивление одиночного заземлителя растеканию зарядов с учетом преобразования формулы (1.2) определяем как

$$R_{\text{С.У.}} = 0,298 \rho_{\text{РАСЧ.}} \psi,$$

$$R_{\text{С.У.}} = 0,298 \cdot 2 \cdot 10^2 \cdot 1,4 = 84 \text{ Ом.}$$

Количество заземлителей вычисляем по выражениям (1.3), (1.4):  $n = 84/10 = 8,4$  шт.; с учетом коэффициента использования  $h_o = 0,68$  (табл. 1.3),  $n = 12,35 \gg 13$  шт.

Намечаем размещение вертикальных заземлителей по периметру замкнутого контура на расстоянии друг от друга порядка 5 м ( $a = 5 \text{ м}$ ,  $a/\ell = 2$ ), расчетное сопротивление вертикальных заземлителей  $R_{\text{о.у.расч.}} = 84/13 = 6,46 \text{ Ом}$ .

Далее по формуле (1.6а) определяем длину соединяющей полосы  $L = 1,05 \cdot 5 \cdot 13 = 68,25 \text{ м}$ , с учетом ответвления от контура до опоры принимаем  $L =$

70 м. В качестве соединяющей все вертикальные заземлители полосы используем круглую сталь диаметром 8 мм. Глубину заложения горизонтальных соединений принимаем  $h_{\text{г}} = 0,5$  м.

Сопротивление полосы  $R_{\text{г}} = 0,366/70 \cdot 2 \cdot 10^2 \cdot \lg 2 \cdot 70^2/0,008 \cdot 0,5 = 6,4$  Ом [см. формулу (1.8)].

Коэффициент использования горизонтального заземлителя  $h_{\text{г}} = 0,344$  (табл. 1.4).

Следовательно, действительное сопротивление растеканию зарядов горизонтальных заземлителей определяется по формуле (1.9)

$$R_{\text{г}} = \frac{6,4}{0,344} = 18,6 \text{ Ом.}$$

Сопротивление всего заземляющего контура определяем по формуле (1.10)

$$R_{\text{СТ}} = \frac{6,46 \cdot 18,6}{6,46 + 18,6} = 4,8 \text{ Ом.}$$

Полученная величина  $R_{\text{СТ}}$  меньше нормативного значения ( $R_{\text{доп}} = 10$  Ом).

## 1.2. Расчет зануления на отключающую способность

Расчет на отключающую способность проводят в следующей последовательности [8]. Расчетную схема см. на рис. 1.2.

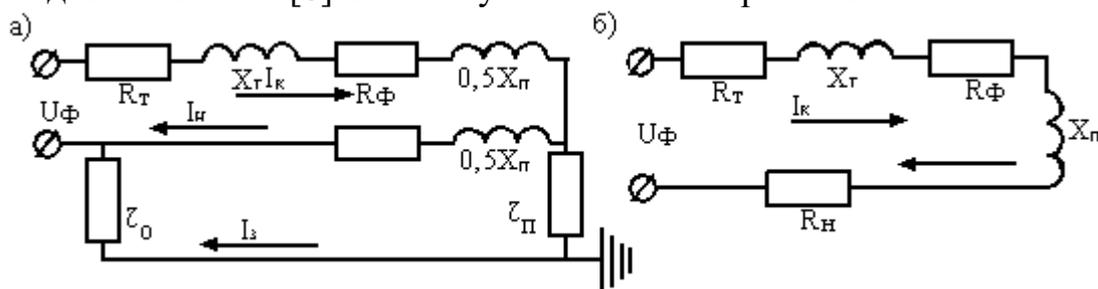


Рис. 1.2. Расчетные схемы зануления на отключающую способность: а – полная; б – упрощенная

Определяем значение тока короткого замыкания, А, по формуле

$$I_{\text{к}} = k I_{\text{ном}}, \quad (1.11)$$

где  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автоматического выключателя (АВ), А;  $k$  – коэффициент кратности тока,  $k = 1,25 \div 1,4$  при АВ, имеющем отсечку;  $k = 3 \div 6$ , если

электроустановка защищается предохранителями или АВ с обратной зависимостью характеристики тока.

Значение  $I_k$  зависит от  $U_\phi$  и сопротивлений цепи, в том числе от активного и индуктивного сопротивлений трансформатора  $R_T$  и  $X_T$ , активных сопротивлений фазного и нулевых проводов  $R_\phi$  и  $R_n$  внешнего индуктивного сопротивления петли фазный провод – нулевой провод  $X_n$  и, наконец, сопротивлений заземления нейтрали трансформатора и повторного заземления нулевого провода  $r_o$  и  $r_n$ .

Поскольку  $r_o$  и  $r_n$ , как правило, велики по сравнению с другими сопротивлениями цепи, можно не принимать во внимание параллельную ветвь, образованную ими. Тогда расчетная схема упростится, а ток  $I_k$  определится по формуле

$$I_k = \frac{U}{\sqrt{(R_T + R_\phi + R_n)^2 + (X_T + X_n)^2}}.$$

Для упрощения можно применять приближенную формулу, в которой полные сопротивления трансформаторов  $r_T$  и петли проводов фаза – нуль  $r_n$  складываются:

$$I_k = \frac{U_\phi}{r_T + r_n}.$$

$$\text{где } r_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}.$$

Тогда сопротивление петли, Ом,

$$r_n = \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + X_n^2}. \quad (1.12)$$

Некоторая погрешность формулы (1.12) ужесточает требования к занулению, т.е. повышает условия безопасности, и поэтому применение ее допустимо.

Расчетная формула получается из выражений (1.11) и (1.12) и имеет следующий вид:

$$k I_{НОМ} < \frac{U_\phi}{r_T + \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + X_n^2}}. \quad (1.13)$$

В ней неизвестным является лишь  $R_n$ .

Значение  $r_T$  для трансформаторов мощностью  $S < 1000$  кВА со схемой соединения обмоток  $U / U_0$  колеблется в пределах от 0,05 до 1,5 Ом и может определяться по эмпирической формуле

$$r_T = \frac{270}{S + 10} U^2, \quad (1.14)$$

где  $U$  – номинальное напряжение трансформатора со стороны, питающей сеть с занулением, кВ.

У трансформаторов мощностью выше 1000 кВА  $r_T$  имеет небольшое значение и им можно пренебречь.

Значение  $R_\phi$  можно определить, если известно сечение фазного провода, которое находится из общего расчета электропроводки.

Значение  $X_H$ , Ом/км, определяется по формуле

$$2. \quad X_H = \omega L_0 = 0,126 \ln \frac{D}{r}, \quad (1.15)$$

где  $D$  и  $r$  – расстояние между проводами и радиус проводов, см.

В приближенных расчетах  $X_H$  принимают равным 0,3 Ом/км для внутренней проводки и 0,6 Ом/км для воздушной линии.

При короткой линии или малом расстоянии между проводами, а также если проводка выполнена кабелем или в стальных трубах, значением  $X_H$  можно пренебречь.

В простейшем случае, когда  $r_T$  и  $X_H$  можно приравнять нулю, расчетное уравнение (1.13) упрощается:

$$k I_{НОМ} < \frac{U_\phi}{R_\phi + R_H}, \quad (1.16)$$

Таким образом, задачей расчета является определение сопротивления нулевого провода  $R_H$  (точнее, полного сопротивления  $r_H$ ), при котором будет выполнено условие (1.14).

В большинстве случаев вычисленное  $r_H$  оказывается в несколько раз больше сопротивления фазного провода  $r_\phi$ .

Однако по условию допустимого нагрева нулевого провода и с целью снижения потенциала, возникающего на нем в период прохождения тока КЗ, ПУЭ требуют, чтобы проводимость нулевого провода была не менее 50% проводимости фазного провода.

В соответствии с требованием ПУЭ расчет зануления на отключающую способность сводится к проверке выбранного сечения нулевого провода по уравнению (1.13).

В тех случаях, когда для обеспечения необходимой величины тока  $I_K$  требуется очень большая проводимость нулевого провода, должна применяться

специальная защита, надежно отключающая поврежденную электроустановку при малых аварийных токах.

### Примеры решения задач

**Задача 1.3.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2. Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора 400 кВА (рис. 1.3).

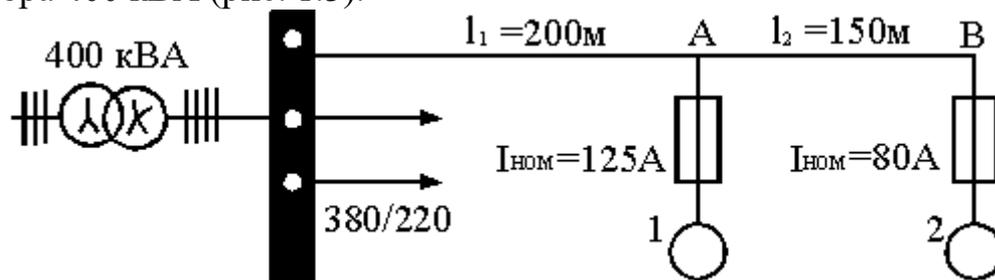


Рис. 1.3. Схема питания линии 380/220 В

**Решение.** Полное сопротивление петли фаза – нуль будет следующим:

а) на 1 км по формуле (1.12)

$$r_n = \sqrt{(0,74 + 1,2)^2 + 0,6^2} = 2 \text{ Ом/км,}$$

где  $X_n$  – принято равным 0,6 Ом/км, а  $R_\phi$  и  $R_n$  взяты из справочника [ 9 ] ;

б) на участке  $\ell_1 = 0,2$  км

$$r_{n1} = \ell_1 r_n,$$

$$r_{n1} = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ Ом.}$$

Определяем  $r_T$  трансформатора по выражению (1.14)

$$r_T = \frac{270}{400 + 10} 0,4^2 = 0,11 \text{ Ом.}$$

Ток короткого замыкания по (1.11):

а) при пробое на корпус двигателя 1

$$I_{к1} = \frac{220}{0,11 + 0,4} = 430 \text{ А;}$$

б) при пробое на корпус двигателя 2

$$I_{к2} = \frac{220}{0,11 + 0,7} = 270 \text{ А.}$$

Необходимый для отключения ток короткого замыкания из (1.11):

а) при пробое на корпус двигателя 1

$$k I_{НОМ} = 3 \cdot 125 = 375 \text{ А;}$$

б) при пробое на корпус двигателя 2

$$k I_{НОМ} = 3 \cdot 80 = 240 \text{ А.}$$

Следовательно, выбранная проводимость нулевого провода обеспечивает отключающую способность схемы.

**Задача 1.4.** Перекачка наливных грузов осуществляется через стационарную эстакаду при помощи центробежного насоса 5НД, приводимого в действие трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором мощностью 28 кВт. В трансформаторной подстанции, удаленной от эстакады на расстояние 130 м, установлен понижающий трансформатор мощностью 100 кВА на напряжении 380/220 В со схемой соединения обмоток Д/у. Питание насоса осуществляется по трехжильному кабелю типа АВГ. В качестве нулевого проводника предполагается использовать алюминиевую оболочку кабеля.

Требуется определить ток плавкой вставки и проверить зануление на отключающую способность.

**Решение.** Номинальный ток электродвигателя насоса [14] определяется как

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ} \cdot 1000}{1,73 U_{л} \eta \cos \varphi}, \quad (1.17)$$

где  $P_{НОМ}$  – мощность электродвигателя, кВт;  $U_{л}$  – линейное напряжение сети, В;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности, принимаем равным 0,7;  $\eta$  – коэффициент использования электроустановки, принимаем равным 0,8.

Тогда

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{28 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,7 \cdot 0,8} = 76 \text{ А.}$$

Пусковой ток двигателя составит [формула 1.11]):

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 76 = 456 \text{ А.}$$

Номинальный ток плавкой вставки:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от режима перегрузки предохранителя при пуске электродвигателя и типа предохранителя. Для предохранителей типа ПР-2  $\alpha = 3$  при легком пусковом режиме и  $\alpha = 2$  при тяжелом пусковом режиме.

Для электродвигателей насосов характерен легкий пусковой режим, поэтому

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{456}{3} = 152 \text{ А.}$$

Выбираем ближайшую стандартную плавкую вставку на ток 160 А.

Для расчета тока линии, равного номинальному току электродвигателя  $I_{\text{НОМ}} = 76 \text{ А}$ , по нагреву приемлемо сечение жил кабеля  $3 \cdot 16 \text{ мм}^2$ .

Проверяем плавкий предохранитель на срабатывание от тока короткого замыкания. Сопротивление фазного провода определяем как

$$R_{\phi} = 0,018 \frac{130}{25} = 0,0936 \text{ Ом,}$$

$X_{\phi} = 0$  для меди.

При сечении фазной жилы  $25 \text{ мм}^2$ , сечении алюминиевой оболочки  $46 \text{ мм}^2$  сопротивление петли составляет

$$R_{\pi} = 0,018 \frac{130}{46} = 0,0791 \text{ Ом;}$$

$X_{\phi} = 0$  для алюминия;  $X_{\pi} = 0$  для кабельной прокладки.

Тогда

$$I_{\kappa} = \frac{U_{\phi}}{\frac{L_{\Gamma}}{3} + R_{\Pi} + R_{\Phi}},$$

$$I_{\kappa} = \frac{220}{0,2663 + 0,0791 + 0,0936} = 501 \text{ A.}$$

Так как  $n = \frac{R_{\Gamma P}}{R_{\text{доп}}},$

$$\kappa = \frac{501}{160} = 3,13,$$

### 1.3. Расчет величины тока, проходящего через тело человека, при различных сопротивлениях изоляции

Расчет величины тока, проходящего через тело человека, производится по [8]. Схему измерения сопротивления изоляции сети см. на рис. 1.4.

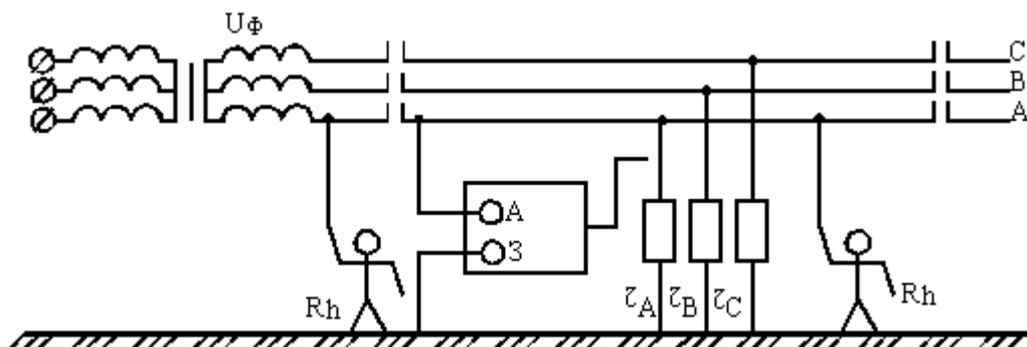


Рис. 1.4. Схема измерения сопротивления изоляции сети мегаомметром

#### Примеры решения задач

**Задача 1.5.** Рассчитать величину тока, проходящего через тело человека при однополюсном прикосновении к сети (см. рис. 1.3). Исходные данные: напряжение  $U_{\phi} = 220$  В; сопротивление фазы “А”  $r_A = 10$  кОм, сопротивление фазы “В”  $r_B = 100$  кОм; сопротивление фазы “С”  $r_C = 1$  МОм; сопротивление тела человека  $R_h = 1$  кОм.

Оценить опасность прикосновения человека к сети, если отпускающее значение тока  $I_h = 6$  мА.

**Решение.** Величину тока  $I_h$ , А, определяем по формуле [16]

$$I = \frac{\sqrt{3}U_{\phi} r_A \sqrt{(r_B^2 + r_B r_C + r_C^2)}}{R_h (r_A r_B + r_B r_C + r_C^2) + r_A r_B r_C}, \quad (1.18)$$

$$I = \frac{1,75 \cdot 0,22 \cdot 10 \sqrt{(100^2 + 100 \cdot 1000 + 1000^2)}}{1(10 \cdot 1000 + 100 \cdot 1000 + 100 \cdot 1000 + 10 \cdot 1000) + 10 \cdot 100 \cdot 1000} = 0,004 \text{ А.}$$

Полученное значение тока  $I_h = 4$  мА  $< 6$  мА является ощутимым.

**Задача 1.6.** Рассчитать величину тока, проходящего через тело человека при однополюсном прикосновении к сети (см. рис. 1.3). Исходные данные: напряжение сети  $U_c = 380$  В; сопротивление фазы “А”  $r_a = 1$  кОм; сопротивление фаз “В” и “С”  $r_B = r_C = 0,5$  кОм; сопротивление тела человека  $R_h = 1$  кОм. Оценить опасность прикосновения человека к сети, если отпускающее значение тока  $I_h = 6$  мА.

**Решение.** Используя выражение (1.18), величину тока  $I_h$  определим по формуле

$$I_h = \frac{U_c r_A \sqrt{(r_B^2 + r_B r_C + r_C^2)}}{R_h (r_A r_B + r_B r_C + r_C^2) + r_A r_B r_C}, \quad (1.19)$$

$$I_h = \frac{0,38 \cdot 1 \cdot \sqrt{(500^2 + 500 \cdot 500 + 500^2)}}{1 (1 \cdot 500 + 500 \cdot 500 + 500^2) + 1 \cdot 500 \cdot 500} = 0,0004 \quad A = 0,4 \text{ мА.}$$

Полученное значение тока, проходящего через тело человека, является осязаемым.

Анализ решения по формулам (1.18) и (1.19) показывает, что прикосновение человека к проводу с большим сопротивлением изоляции более опасно.

#### 1.4. Расчет устройств защитного отключения

Устройства защитного отключения (УЗО) широко применяют в электроустановках [8, 10, 14, 17].

Основные элементы устройства защитного отключения:

- прибор защитного отключения, представляющий собой совокупность отдельных элементов, которые воспринимают входную величину, реагируют на ее изменение и при заданном ее значении дают сигнал на отключение выключателя. Прибор может реагировать на потенциал корпуса, ток замыкания на землю, напряжение и ток нулевой последовательности, оперативный постоянный ток;

- исполнительный орган – автоматический выключатель, обеспечивающий отключение соответствующего участка электроустановки при получении сигнала от прибора защитного отключения. В электроустановках напряжением до 1000 В в качестве выключателей, удовлетворяющих требованиям защитного отключения, применяют контакторы, магнитные пускатели, автоматические выключатели с независимым расцепителем, специальные выключатели для устройства защитного отключения.

Основные требования, предъявляемые к УЗО: высокая чувствительность, малое время отключения, селективность действия, способность осуществлять самоконтроль исправности, высокая надежность.

УЗО, реагирующее на потенциал корпуса, применяют как основной технический способ защиты. Защитное действие заключается в быстром

отключении от сети электроустановки с поврежденной изоляцией, если возникший на ее корпусе потенциал окажется выше потенциала, при котором напряжение прикосновения к корпусу превышает длительно допустимое значение. Прибором защитного отключения является реле напряжения РН (рис. 1.5), которое подключается между корпусом электроустановки и рабочим заземлителем УЗО.

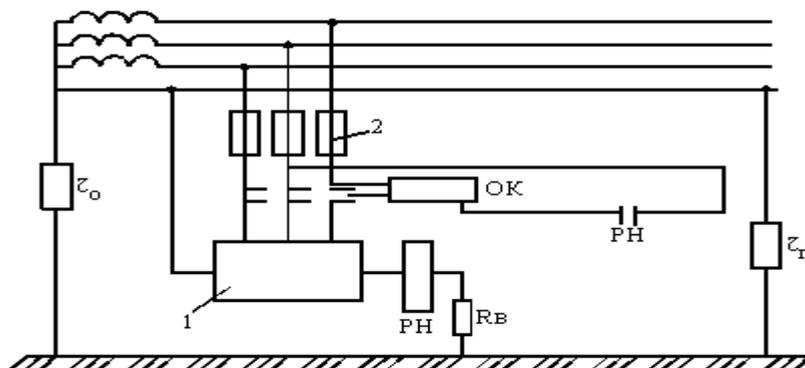


Рис. 1.5. Схема устройства защитного отключения

1 – корпус электроприемника; 2 – предохранители; ОК – отключающая катушка автоматического выключателя; РН – реле напряжения;  $r_0$  – сопротивление заземления нейтрали;  $R_B$  – сопротивление вспомогательного заземления;  $r_П$  – сопротивление повторного заземления

УЗО срабатывает, если напряжение между корпусом электроустановки и землей превышает уставку напряжения срабатывания реле, значение которого выбирают равным предельно допустимому напряжению прикосновения.

Напряжение срабатывания реле РН

$$U_{CP} = \frac{U_{пр. доп} \sqrt{R_{рн}^2 + X_{рн}^2}}{\alpha_1 \alpha_2 \sqrt{(R_{рн} + R_B)^2 + X_{рн}^2}}, \quad (1.20)$$

где  $U_{пр. доп}$  – предельно допустимое значение напряжения прикосновения, В;  $R_{рн}$ ,  $X_{рн}$  – активное и индуктивное сопротивление обмотки реле, Ом;  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты напряжения прикосновения;  $R_B$  – сопротивление рабочего (вспомогательного) заземлителя УЗО.

Если корпус электроустановки заземлен, электроды заземлителя УЗО размещают вне зоны растекания токов заземлителя корпусов (на расстоянии более 20 м от заземлителя корпуса).

**Примеры решения задач**

**Задача 1.7.** В конце линии 380/220 В (рис. 1.5) имеется зануленный потребитель энергии (электродвигатель). Вследствие удаленности его от питающего трансформатора возможны случаи отказа зануления. По условиям безопасности требуется безусловное отключение установки при замыкании фазы на корпус, причем напряжение прикосновения  $U_{\text{пр доп}}$  не должно превышать длительно 60 В. Для выполнения этих условий снабжаем электроустановку защитно-отключающим устройством, реагирующим на потенциал корпуса. При этом используем реле напряжения РН, у которого напряжение срабатывания  $U_{\text{ср}} = 30$  В, сопротивление обмотки активное  $R_{\text{РН}} = 400$  Ом и индуктивное  $X_{\text{РН}} = 200$  Ом.

**Решение.** Принимаем, что при касании к корпусу человек стоит на сырой земле вне зоны растекания тока с заземлителей, т.е. считаем, что коэффициенты напряжения прикосновения  $a_1 = a_2 = 1$ .

В этом случае условие безопасности согласно формуле (1.18) будет определяться как

$$30 = \frac{60 \sqrt{400^2 + 200^2}}{\sqrt{(400 + R_{\text{В}})^2 + 200^2}} \text{ В,}$$

откуда находим значение сопротивления вспомогательного заземлителя  $R_{\text{в}} = 470$  Ом, при котором защитное отключение будет срабатывать, если напряжение прикосновения достигнет 60 В.

**Задача 1.8.** Определить величину напряжения срабатывания при его следующих параметрах: сопротивление измерительного органа  $R_{\text{РН}} = 7000$  Ом; сопротивление рабочего заземляющего устройства  $R_{\text{з}} = 2000$  Ом; ток срабатывания  $I_{\text{ср}} = 3 \cdot 10^{-3}$  А.

**Решение.** Величина напряжения срабатывания УЗО определяется по формуле

$$U_{\text{ср}} = I_{\text{ср}} (R_{\text{РН}} + R_{\text{з}}), \quad (1.21)$$

$$U_{\text{ср}} = 3 \cdot 10^{-3} (7000 + 2000) = 27 \text{ В.}$$

Данное УЗО обеспечивает условие электробезопасности при допустимом напряжении прикосновения 36 В.

## 1.5. Технические способы защиты в самоходных грузоподъемных кранах

Защита при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям крана, оказавшимся под напряжением вследствие его приближения к проводам ЛЭП, может быть обеспечена таким техническим способом защиты, как безопасное расположение. Другие технические способы защиты в этом аварийном режиме, как правило, не эффективны [17].

### Примеры решения задач

**Задача 1.9.** Оценить опасность прикосновения человека к заземленному ( $R_{зп}=10$  Ом) корпусу крана, работающего в охранной зоне воздушной ЛЭП с номинальным напряжением  $U = 380$  В, если нейтральная точка питающего линию трансформатора заземлена  $R_{3N}$  (рис. 1.6).

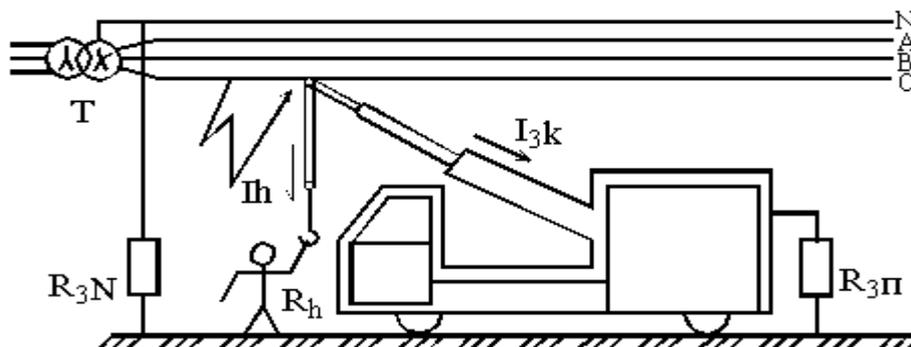


Рис. 1.6. Схема аварийного режима при сближении стрелы крана с проводом ЛЭП

**Решение.** При сближении крана с проводом ЛЭП значение тока однофазного замыкания на землю определяется величинами фазного напряжения трансформатора и сопротивлений заземляющих устройств по формуле [17]

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_{зп} + R_{3N}}, \quad (1.22)$$

где  $R_{3N}$  – сопротивление нейтрали трансформатора;  $R_{зп}$  – сопротивление корпуса крана (сопротивлениями трансформатора и проводов ЛЭП можно пренебречь),

$$I_3 = \frac{220}{10 + 4} = 15,7 \text{ А.}$$

Напряжение корпуса крана относительно земли определяется по формуле

$$U_{кз} = I_3 R_{зп}, \quad (1.23)$$

$$U_{кз} = 15,7 \cdot 10 = 157 \text{ В.}$$

Продолжительность существования аварийного режима ничем не ограничена, режим опасен с точки зрения электробезопасности.

**Задача 1.10.** Оценить опасность прикосновения человека к заземленному ( $R_{зп} = 15 \text{ Ом}$ ) корпусу крана, работающего в охранной зоне воздушной ЛЭП с номинальным напряжением  $U = 380 \text{ В}$ , если нейтральная точка питающего линию трансформатора заземлена  $R_{3N}=4 \text{ Ом}$ .

**Решение.** Ток однофазного замыкания на землю определяется по формуле (1.22)

$$I_3 = \frac{220}{15 + 4} = 11,6 \text{ А.}$$

$$U_{кз} = I_3 R_{зп},$$

$$U_{кз} = 11,6 \cdot 10 = 116 \text{ В.}$$

Продолжительность существования аварийного режима ничем не ограничена, режим опасен с точки зрения электробезопасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.009-76. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.
2. ГОСТ 12.1.019-78. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования.
3. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Защитное заземление, зануление.
4. ГОСТ 12.2.038-88. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
5. ГОСТ 12.4.155-85. Система стандартов безопасности труда. Устройства защитного отключения. Классификация. Общие технические требования.
6. Правила электробезопасности для работников железнодорожного транспорта на электрифицированных железных дорогах ЦЭ-346 / МПС, Управление электрификации и электроснабжения. – М.: Транспорт, 1995.
7. Ослон, А.Б. Зануление как способ обеспечения электробезопасности / А.Б. Ослон // Промышленная энергетика. – 1981. – № 7.
8. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
9. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности / П.А. Долин. – 5-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
10. Князевский Е.А. Электробезопасность в машиностроении / Е.А. Князевский. – М.: Машиностроение, 1980.

11. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1999.
12. ГОСТ Р 50571.10-96. Электроустановки зданий. Ч. 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Гл. 54. Заземляющие устройства и защитные проводники.
13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
14. Безопасность жизнедеятельности. Примеры решения задач: Учебное пособие. – В 2-х частях. – Ч.1 / Под ред. Б.А. Мамота. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2002. – 96 с.: ил.
15. Безопасность жизнедеятельности. Примеры решения задач: Учебное пособие. – В 2-х частях. – Ч.2 / Под ред. Б.А. Мамота. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2002. – 84 с.: ил.
16. Охрана труда в грузовом хозяйстве железных дорог (с примерами решения задач) / В.И. Бекасов, Н.В. Лысенко, В.А. Муратов и др. – М.: Транспорт, 1984.
17. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. В 3-х ч. / Л.А. Бессонов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1967.
18. Безопасность жизнедеятельности: Сборник лабораторных работ. Часть 2 / Под ред. Б.А. Мамот. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000.
19. Дулицкий, Г.А. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В: Справочник / Г.А. Дулицкий, А.П. Комаревцев. – М.: Воениздат, 1988.

## **2.ЗАЩИТА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА**

В атмосферу выбрасывается значительное количество загрязняющих веществ в процессе работы автомобильного и железнодорожного транспорта, предприятий, заводов. Анализ источников вредных выбросов показывает, что от металло- и деревообрабатывающих станков в атмосферу поступает в основном абразивная, металлическая и древесная пыль. При сжигании топлива различными видами транспорта, отопительными и энергетическими предприятиями в атмосферу выбрасываются продукты неполного сгорания топлива (окись углерода, сажа), оксиды азота, сернистый ангидрид.

В качестве одной из мер по защите атмосферы можно отметить регламентирование эмиссии загрязняющих веществ. Для каждого источника вредных выбросов устанавливается предельно допустимый выброс (ПДВ). Расчет нормативов ПДВ загрязняющих веществ в атмосферу производится на основании фонового загрязнения и условий рассеивания вредных примесей. Загрязнение атмосферы выбросами от различных видов транспорта и предприятий определяется расчетным путем на основании данных об объеме работ и количестве расходуемого сырья. В целях рационального природопользования, снижения уровня загрязнений атмосферного воздуха от антропогенных источников на предприятиях дополнительно применяют очистку выбросов от вредных веществ.

## Примеры решения задач

**Задача 2.1.** Определить валовой выброс оксида углерода, оксидов азота, оксидов серы и твердых частиц при сжигании 845 т/год высокосернистого мазута в камерной топке котельной. Котельная вырабатывает 6 тонн пара в час и оборудована центробежным скруббером ЦС-ВТИ.

**Решение.** Валовой выброс твердых частиц  $M_T$ , т/год, в воздушный бассейн определяем по формуле

$$M_T = \frac{q_T}{100} m \chi \left( 1 - \frac{\eta_T}{100} \right), \quad (2.1)$$

где  $q_T$  – зольность топлива, % (табл. 2.1);  $m$  – количество израсходованного топлива за год, т;  $\chi$  – безразмерный коэффициент (табл. 2.2);  $\eta_T$  – эффективность золоулавливателей, % (табл. 2.3);

$$M_T = \frac{0,1}{100} \cdot 845 \cdot 0,01(1 - 90/100) = 0,000845 \text{ т/год}$$

Валовой выброс оксида углерода, т/год, рассчитываем по формуле

$$M_{CO} = C_{CO} m (1 - q_1/100) \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

где  $C_{CO}$  – выход окиси углерода при сжигании топлива, кг/т, кг/тыс. м<sup>3</sup>;  $m$  – количество израсходованного топлива, т/год, тыс. м<sup>3</sup>/год;  $q_1$  – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания, % (табл. 2.4).

Таблица 2.1 Характеристика топлив (при нормальных условиях)

Наименование топлива	$q_T$ , %	$S^r$ , %	$Q_i^r$ , МДж/кг
Угли			
Донецкий бассейн	28,0	3,5	18,50
Днепровский бассейн	31,0	4,4	6,45
Подмосковный бассейн	39,0	4,2	9,88
Экибастузский бассейн	32,6	0,7	18,94
Кузнецкий бассейн	13,2	0,4	22,93
Канско-Ачинский бассейн	6,7	0,2	15,54
Горючие сланцы			
Эстонсланец	50,5	1,6	11,34
Ленинградсланец	54,2	1,5	9,50
Торф:			
Росторф в целом	12,5	0,3	8,12
Другие виды топлива			
Мазут малосернистый	0,1	0,5	40,30

Мазут сернистый	0,1	1,9	39,85
Мазут высокосернистый	0,1	4,1	38,89
Дизельное топливо	0,025	0,3	42,75
Солярное масло	0,02	0,3	42,46
Природный газ из газопроводов			
Саратов–Москва	–	–	35,80
Саратов–Горький	–	–	36,10
Ставрополь–Москва	–	–	36,00
Серпухов–Ленинград	–	–	37,43
Брянск–Москва	–	–	37,30

Выход окиси углерода при сжигании топлива, кг/т, определяем по формуле

$$C_{CO} = q_2 R Q_i^r, (2.3)$$

где  $q_2$  – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, % (табл. 2.4);  $R$  – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива,  $R=1$  – для твердого топлива,  $R=0,5$  – для газа,  $R=0,65$  – для мазута [1];  $Q_i^r$  – низшая теплота сгорания натурального топлива (табл. 2.1);

$$C_{CO} = 0,5 \cdot 0,65 \cdot 38,89 = 12,64 \text{ кг/т};$$

$$M_{CO} = 12,64 \cdot 845 \cdot \left(1 - \frac{0,5}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 10,62 \text{ т/год}$$

Таблица 2.2 Значение коэффициента  $c$  в зависимости от типа топки и топлива

Тип топки	Топливо	$c$
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0026
С неподвижной решеткой и ручным забросом	Бурые и каменные угли	0,0023
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035
Слоевая топка бытовых теплоагрегатов	Бурые угли	0,0011
	Каменные угли	0,0011
	Антрацит, тощие угли	0,0011
Шахтная	Твердое топливо	0,0019
Шахтно-цепная	Торф кусковой	0,0019
Наклонно-переталкивающая	Эстонские сланцы	0,0025

Камерные топки паровых и водогрейных котлов	Мазут	0,010
	Газ природный, попутный и коксовый	–

Таблица 2.3 Средняя эксплуатационная эффективность аппаратов газоочистки и пылеулавливания

Аппарат, установка	Эффективность улавливания твердых частиц $h_t$ , %
Батарейные циклоны типа БЦ-2	85
Батарейные циклоны на базе секции СЭЦ-24	93
Батарейные циклоны типа ЦБР-150У	93–95
Электрофильтры	97–99
Центробежные скрубберы ЦС-ВТИ	88–90
Жалюзийные золоуловители	75–85
Групповые циклоны ЦН-15	85–90
Дымосос-пылеуловитель ДП-10	90

Таблица 2.4 Характеристика топок котлов малой мощности

Тип топки и котла	Топливо	$q_2$ , %	$q_1$ , %
Топка с цепной решеткой	Донецкий антрацит	0,5	13,5/10
Шахтно-цепная топка	Торф кусковой	1,0	2,0
Топка с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Донецкий антрацит	0,5–1	13,5/10
	Бурые угли типа подмосковных	0,5–1	9/7,5
	Бурые угли типа бородинских	0,5–1	6/3
	Угли типа кузнецких	0,5–1	5,5/3
Слоевая топка котла паропроизводительностью более 2 т/ч	Эстонские сланцы	3	3
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Каменные угли	0,5	5/3
	Бурые угли	0,5	3/1,5
	Фрезерный торф	0,5	3/1,5
Камерная топка	Мазут	0,5	0,5
	Природный газ	0,5	0,5

Валовой выброс оксидов азота, т/год, определяем по формуле

$$M_{NO_2} = m Q_i^r K_{NO_2} (1 - \beta) \cdot 10^{-3}, \quad (2.4)$$

где  $K_{NO_2}$  – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на 1 ГДж тепла, кг/ГДж (табл. 2.5);  $\beta$  – коэффициент, зависящий

от степени снижения выбросов NO<sub>2</sub> в результате применения технических решений, принимаем b = 0,

$$M_{\text{NO}_2} = 845 \cdot 38,89 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-3} = 3,28 \text{ т/год}$$

Таблица 2.5 Зависимость K<sub>NO2</sub> от паропроизводительности котлоагрегатов

Паропроизводительность котлоагрегатов, т/ч	Значение K <sub>NO2</sub>			
	Природный газ, мазут	Антрацит	Бурый уголь	Каменный уголь
4,0	0,099	0,13	0,198	0,215
6,0	0,1	0,135	0,165	0,225
8,0	0,102	0,138	0,213	0,228
10,0	0,103	0,14	0,215	0,235
15,0	0,108	0,15	0,225	0,248
20,0	0,109	0,155	0,23	0,25
25,0	0,11	0,158	0,235	0,255
30,0	0,115	0,16	0,24	0,26

Валовой выброс оксидов серы, т/год, только для твердого и жидкого топлива:

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 m (S^r / 100) (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) (1 - \eta''_{\text{SO}_2}), \quad (2.5)$$

где S<sup>r</sup> – содержание серы в топливе, % (табл. 2.1); η'<sub>SO<sub>2</sub></sub> – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива. Для эстонских или ленинградских сланцев принимается равной 0,8; остальных сланцев – 0,5; углей Канско-Ачинского бассейна – 0,2; Березовских – 0,5; экибастузских – 0,02; прочих углей – 0,1; торфа – 0,15; мазута – 0,2 [1]; η''<sub>SO<sub>2</sub></sub> – доля оксидов серы, улавливаемых в золоулавливателе; для сухих золоулавливателей принимается равной 0.

Тогда

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot 845 \cdot (4,1/100) \cdot (1 - 0,2) \cdot (1 - 0) = 0,554 \text{ т/год}$$

Центробежный скруббер ЦС-ВТИ улавливает 90% твердых частиц, что обеспечивает незначительный валовой выброс твердых частиц в атмосферу – 0,85 кг/год. Газообразные вредные вещества не улавливаются сухим фильтром и попадают в атмосферу без очистки. Для снижения выбросов CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> необходима разработка малотоксичных горелочных устройств.

**Задача 2.2.** Рассчитать массу выбросов (CO) в сутки от автомобилей на территории автопредприятия в зимнее время. Парк автомобилей состоит из 7 легковых машин и 25 автомобилей КАМАЗ грузоподъемностью 15 тонн. Средний пробег грузового автомобиля по территории предприятия в сутки равен 600 м, легкового – 400 м.

**Решение.** Объем *i*-го вещества, г, от *j*-го автомобиля на территории автопредприятия определяется по формуле

$$M_{ij} = m_i^{\text{прог}} t_{\text{прог}} + m_i^{\text{ДВ}} L + m_i^{\text{х.ход}} t_{\text{х.ход}}, \quad (2.6)$$

где  $m_i^{\text{прог}}$  – удельный выброс *i*-го вещества при прогреве двигателя, г/мин (табл. 2.6);  $t_{\text{прог}}$  – время прогрева двигателя автомобиля, мин;  $m_i^{\text{ДВ}}$  – удельный выброс *i*-го вещества при поддержании постоянной скорости автомобиля 10–20 км/ч, г/км (табл. 2.6);  $L$  – пробег автомобиля по территории автопредприятия (въезд, выезд) в режиме поддержания постоянной скорости 10–20 км/ч;  $R_{\text{ПРАС}}$  – удельный выброс *i*-го компонента при работе двигателя на холостом ходу, г/мин (табл. 2.6);  $t_{\text{х.ход}} = 5$  мин – время работы двигателя на холостом ходу при выезде и возврате с автопредприятия, мин.

Время прогрева двигателя легкового автомобиля в зимнее время принимаем равным 20 мин. Выбросы оксида углерода от одного легкового автомобиля

$$M_{\text{CO}}^{\text{ГРУ}} = 9,1 \cdot 20 + 21,3 \cdot 0,4 + 4,5 \cdot 5 = 213,02 \text{ г}$$

. Таблица 2.6 Выбросы загрязняющих веществ автомобилями [1]

Тип автомобиля	Тип двигателя	CO		CH		NO <sub>2</sub>		C	
		Периоды года							
		теплый	холодный	теплый	холодный	теплый	холодный	теплый	холодный
Удельные выбросы загрязняющих веществ автомобилями в процессе прогрева двигателя, г/мин									
Легковой		5,0	9,1	0,4	1,0	0,05	0,1	–	–
Грузовой 3000 < q < 6000	карбюрат.	18,1	44,5/26,1	2,9	8,7/5,4	0,2	0,3/0,2	–	–
	дизельный	2,8	4,37/3,6	0,3	0,8/0,54	0,62	0,84/0,62	0,03	0,21/0,12
Грузовой q > 6000	карбюрат.	23,4	57,2/33,8	3,3	9,1/6,3	0,2	0,3/0,2	–	–
	дизельный	2,9	8,1/5,3	0,4	1,1/0,7	1,0	2,0/1,0	0,04	0,35/0,18
Малый (КАВЗ, ПАЗ)	карбюрат.	8,1	21,8/14,2	1,6	3,6/2,4	0,1	0,2/0,1	–	–
Средний (ПАЗ)	карбюрат.	18,1	44,5/26,1	2,9	8,7/5,4	0,2	0,3/0,2	–	–
Икарус-250	дизельный	4,6	8,9/6,4	0,5	1,3/0,8	0,61	1,25/0,61	0,03	0,12/0,08
Пробеговые выбросы загрязняющих веществ при движении автомобилей со скоростью 10–20 км/ч, г/км									
Легковой	карбюрат.	17,0	21,3	1,7	2,5	0,4	0,3	–	–
Грузовой 3000 <q< 6000	карбюрат.	47,4	59,3	8,5	10,3	1,0	0,8	–	–
	дизельный	4,1	5,0	0,7	0,9	3,0	2,4	0,2	0,3
Грузовой q > 6000	карбюрат.	55,3	68,8	9,9	11,9	1,2	0,9	–	–
	дизельный	5,1	6,2	0,9	1,1	3,5	2,7	0,2	0,3
Малый (КАВЗ, ПАЗ)	карбюрат.	27,6	34,4	4,9	6,0	0,6	0,5	–	–
Средний (ПАЗ)	карбюрат.	47,4	59,3	8,5	10,3	1,0	0,8	–	–
Икарус-250	дизельный	5,1	6,2	0,9	1,1	3,5	2,7	0,2	0,3
Удельные выбросы загрязняющих веществ при работе двигателя на холостом ходу, г/мин									
Легковой		4,5		0,4		0,05		–	–
Грузовой 3000 < q < 6000	карбюрат.	18,1		2,9		0,2		–	–
	дизельный	2,8		0,3		0,62		0,03	
Грузовой q > 6000	карбюрат.	23,4		3,3		0,2		–	–
	дизельный	2,9		0,3		1,0		0,04	
Малый автобус	карбюрат.	8,1		1,6		0,1		–	–
Средний автобус	карбюрат.	18,1		2,9		0,2		–	–
Икарус-250	дизельный	4,6		0,5		0,61		0,03	

Время прогрева двигателя грузового автомобиля в зимнее время принимаем равным 30 мин. Выбросы оксида углерода от одного КАМАЗа на территории предприятия

$$M_{CO}^{Гру} = 8,1 \cdot 30 + 6,2 \cdot 0,6 + 2,9 \cdot 5 = 261,22 \text{ г}$$

Выброс оксида углерода в сутки на территории автопредприятия всеми автомобилями

$$M_{CO} = 213,02 \cdot 7 + 216,22 \cdot 25 = 8021,64 \text{ г}$$

Объем выбросов оксида углерода в сутки на территории автопредприятия значителен – 8,02 кг/сутки. ПДК<sub>с.с</sub> оксида углерода (СО) равен 1 мг/м<sup>3</sup>. Для предотвращения превышения уровня СО над ПДК<sub>с.с</sub> и вредного влияния СО на организм рабочих необходимо поочередное прогревание двигателей и выезд автомобилей с территории автопредприятия.

**Задача 2.3.** Рассчитать валовой выброс частиц абразивной пыли от трех круглошлифовальных станков с диаметрами круга 300, 350, 400 мм. Станки работают в сутки по 6 часов, в год – 258 дней. Участок оборудован аппаратом сухой очистки воздуха циклон ЦН-15.

**Решение.** Валовой выброс абразивной пыли  $M$ , кг/год, одного станка рассчитываем по формуле

$$M_i = g_i \cdot t \cdot n \cdot k \cdot 3600 \cdot 10^{-3}, \quad (2.7)$$

где  $g_i$  – удельное выделение загрязняющих веществ при работе единицы оборудования в течение 1 с, г (табл. 2.7);  $t$  – время работы станка в день, ч;  $n$  – количество дней работы в году;  $k$  – количество станков данного типа,

$$M_{300} = 0,043 \cdot 6 \cdot 258 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 239,63 \text{ кг/год},$$

$$M_{350} = 0,047 \cdot 6 \cdot 258 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 261,92 \text{ кг/год},$$

$$M_{400} = 0,05 \cdot 6 \cdot 258 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 278,64 \text{ кг/год}.$$

Валовой выброс абразивных частиц от участка

$$M_0 = \sum_{i=1}^n M_i \left( 1 - \frac{A \cdot \eta_r}{100} \right), \quad (2.8)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий исправную работу очистного устройства за год;  $h_T$  – эффективность очистки, % (табл. 2.8).

Таблица 2.7 Удельный выброс загрязняющих веществ при работе единицы оборудования в течение 1 с, г [1]

Тип станка	Наименование загрязнителя	Диаметр шлифовального круга, мм	Удельный выброс, г/с
Круглошлифовальный	Абразивная пыль	150	0,0325
		300	0,043
		350	0,047
		400	0,05
		600	0,065
		750	0,075
		900	0,086
Плоскошлифовальный	Абразивная пыль	175	0,036
		250	0,042
		250	0,05
		400	0,055
		450	0,059
		500	0,063
Бесцентрошлифовальный	Абразивная пыль	30–100	0,0126
		400–500	0,019
		480–600	0,025
Заточный	Металлическая пыль	100	0,0097
		150	0,01
		200	0,02
		250	0,037
		300	0,038
		350	0,041
		400	0,0475
		450	0,054
		500	0,06
550	0,067		

Таблица 2.8 Средняя эксплуатационная эффективность аппаратов сухой очистки воздуха [1]

Аппарат, установка	Эффективность улавливания твердых частиц $h_t$ , %
Циклоны ЦН-15	80–85
Циклоны СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34	85–93
Групповые циклоны	85–90
Батарейные циклоны	82–90
Рукавные фильтры	99 и выше
Сетчатые фильтры (для волокнистой пыли)	93–96
Индивидуальные агрегаты типа ЗИЛ-900, АЭ212	95
Циклоны ЛИОТ	70–80

Коэффициент, учитывающий исправную работу очистного устройства,

$$A = N/N_1, \quad (2.9)$$

где  $N = 256$  – количество дней исправной работы очистных сооружений в год;  $N_1$  – количество дней работы станков в год,

$$A = 256/258 = 0,99 .$$

$$M_0 = (239,63 + 26192 + 27864) \cdot \left(1 - \frac{0,99 \cdot 80}{100}\right) = 160,87 \text{ кг/год}$$

Аппарат очистки воздуха улавливает 80% абразивной пыли, выделяющейся при работе станков. Поэтому загрязнение атмосферного воздуха – в пределах нормы. Рабочим необходимо применять респираторы.

**Задача 2.4.** Определить количество  $NO_2$ , образующейся при сжигании угля. Максимальная температура факела в топке 1653 К, коэффициент избытка воздуха на выходе из топки составляет 1,07. Расход топлива – 10,85 кг/с, содержание азота в топливе  $N^p = 0,5\%$ . Теоретически необходимый объем воздуха  $V^0 = 2,86 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Объемы составляющих продуктов сгорания:  $V_{RO_2}^0 = 0,56 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_{N_2}^0 = 2,27 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_{H_2O}^0 = 0,60 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Объем топки составляет  $918 \text{ м}^3$ .

**Решение.** Объем сухих газов,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ,

$$V_r^{сух} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V^0 (\alpha - 1), \quad (2.10)$$

$$V_r^{сух} = 0,56 + 2,27 + (1,07 - 1) \cdot 2,86 = 3,03 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Полный объем дымовых газов, м<sup>3</sup>/кг,

$$V_r = V_r^{сух} + V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) V^0, \quad (2.11)$$

$$V_r = 3,03 + 0,60 + 0,0161 \cdot (1,07 - 1) \cdot 2,86 = 3,63 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Определяем константу скорости реакции для различных топлив, м<sup>3</sup>/(моль·с),

$$k_2 = 4,0 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{540,1 \cdot 10^6}{RT}\right), \quad (2.12)$$

где  $R = 8,31441 \cdot 10^3$  – постоянная газовая универсальная, Дж/(К·кмоль);

$$k_2 = 4,0 \cdot 10^{19} \exp\left(-\frac{540,1 \cdot 10^6}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 1653}\right) = 3,507 \cdot 10^2 \text{ м}^3 / (\text{кмоль} \cdot \text{с})$$

Концентрация кислорода в зоне реакции, моль/м<sup>3</sup>,

$$C_{O_2} = 0,21(\alpha - 1) \frac{V^0}{V_r} \frac{P}{RT}, \quad (2.13)$$

где  $P = 9,81 \cdot 10^4$  Па – давление в топке.

$$C_{O_2} = 0,21 \cdot (1,07 - 1) \frac{2,86}{3,63} \frac{9,81 \cdot 10^4}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 1653} = 8,262 \cdot 10^{-5} \text{ кмоль/м}^3$$

Рассчитываем концентрацию азота в зоне реакции, моль/м<sup>3</sup>,

$$C_{N_2} = 0,79 \alpha \frac{V^0}{V_r} \frac{P}{RT}, \quad (2.14)$$

$$C_{N_2} = 0,79 \cdot 1,07 \cdot \frac{2,86}{3,63} \cdot \frac{9,81 \cdot 10^4}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 1653} = 4,751 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/м}^3$$

Находим константу равновесия, моль/м<sup>3</sup>,

$$K_p = \sqrt{\frac{64}{3} \exp\left(-\frac{180 \cdot 10^6}{RT}\right)}, \quad (2.15)$$

$$K_p = \sqrt{\frac{64}{3} \exp\left(-\frac{180 \cdot 10^6}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 1653}\right)} = 6,591 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/м}^3$$

Определяем равновесную концентрацию оксидов азота, моль/м<sup>3</sup>,

$$C_{(NO)} = K_p \sqrt{C_{N_2} C_{O_2}}, \quad (2.16)$$

$$C_{(NO)} = 6,591 \cdot 10^{-3} \sqrt{8,262 \cdot 10^{-5} \cdot 4,751 \cdot 10^{-3}} = 4,129 \cdot 10^{-6} \text{ кмоль/м}^3$$

Начальная концентрацию атомарного азота, моль/м<sup>3</sup>,

$$C_N^0 = \beta \frac{N^p 273}{14 V_r T}, \quad (2.17)$$

где  $\beta$  – поправка на степень конверсии азота топлива,  $\beta = 0,02$  для угля;  $\beta = 0,4$  для торфа в топке с амбразурами;  $\beta = 0,5$  для мазута [3];

$$C_N^0 = 0,4 \cdot \frac{0,005 \cdot 273}{14 \cdot 3,63 \cdot 1653} = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ кмоль/м}^3$$

Время пребывания продуктов сгорания в топке, с,

$$\tau = \frac{V_r 273}{B V_r T}, \quad (2.18)$$

$$\tau = \frac{918 \cdot 273}{10,85 \cdot 3,63 \cdot 1653} = 3,85 \text{ с}$$

Определяем безразмерное время:

$$H_0 = \frac{k_2 C_{O_2} C_N^0 \tau}{C_{(NO)}}; \quad (2.$$

$$H_0 = \frac{3,507 \cdot 10^2 \cdot 8,262 \cdot 10^{-5} \cdot 6,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3,85}{4,129 \cdot 10^{-6}} = 0,1756 \quad .19)$$

Безразмерная концентрация NO

$$\sigma_{NO} = \sqrt{2} \frac{\exp(2\sqrt{2}H_0) - 1}{\exp(2\sqrt{2}H_0) + 1}, \quad (2.20)$$

$$\sigma_{NO} = \sqrt{2} \frac{\exp(2\sqrt{2} \cdot 0,1756) - 1}{\exp(2\sqrt{2} \cdot 0,1756) + 1} = 0,344$$

Действительная концентрация NO, моль/м<sup>3</sup>,

$$C_{NO} = C_{(NO)} \sigma_{NO}, \quad (2.21)$$

$$C_{NO} = 0,344 \cdot 4,129 \cdot 10^{-6} = 1,42 \cdot 10^{-6} \text{ кмоль/м}^3$$

Действительная концентрация NO<sub>2</sub> при переходе всего NO в NO<sub>2</sub>, кг/м<sup>3</sup>,

$$C_{NO_2} = C_{NO} \frac{V_r 46 T}{V_r^{сух} 273}, \quad (2.22)$$

$$C_{NO_2} = 1,42 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3,63 \cdot 46 \cdot 1653}{3,03 \cdot 273} = 4738 \cdot 10^{-6}, \text{ кг/м}^3 = 4738 \text{ мг/м}^3$$

При таких условиях работы топки в окружающую среду выделяется около 474 мг/м<sup>3</sup> двуокиси азота. На эмиссию оксидов азота сильное влияние оказывает коэффициент избытка воздуха и температура в топочной камере.

### 3. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

Вибрация – это вид механических колебаний в технике (машинах, механизмах, средствах транспорта, конструкциях и др.). Источниками вибраций на предприятиях железнодорожного транспорта являются многие технологические процессы: укладка бетонных смесей, формовка железобетонных изделий на виброплощадках. Интенсивные вибрации возникают на фундаментах машин, при работе ручного механизированного инструмента, в подвижном составе железных дорог, а также создаются компрессорами, вентиляторами, насосами, генераторами.

По характеру воздействия на человека различают общую и локальную (местную) вибрацию. Общей вибрации (тряске), передаваемой на организм через опорные поверхности тела человека, подвергаются работники поездных и

локомотивных бригад, операторы путевых и самоходных машин, трактористы и другие рабочие, а также пассажиры. Локальная вибрация, действующая на руки человека, создается многочисленными ручными машинами и механизированным инструментом, широко применяемыми при самых разнообразных работах, связанных с изготовлением и ремонтом средств транспорта, пути, электрооборудования, средств автоматики и связи, при строительных и монтажных работах.

Систематическое воздействие общих вибраций в резонансной или околорезонансной зоне может быть причиной вибрационной болезни – стойких нарушений физиологических функций, обусловленных преимущественно воздействием вибраций на центральную нервную систему. Эти нарушения проявляются в виде головных болей, головокружения, плохого сна, пониженной работоспособности, плохого самочувствия, нарушения сердечной деятельности.

Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов, распространяющиеся от фаланг пальцев, на всю кисть, предплечье и сердце. Вследствие этого происходит нарушение периферического кровоснабжения. Одновременно происходит нарушение чувствительности кожи, окостенение сухожилий мышц, возникают боли и отложения солей в суставах кистей рук и пальцев, что приводит к деформации и уменьшению подвижности суставов.

Виброблезнь относится к группе профзаболеваний, эффективное лечение которых возможно лишь на ранних стадиях, причем восстановление нарушенных функций протекает очень медленно, а в особо тяжелых случаях в организме наступают необратимые изменения, приводящие к инвалидности.

Снижение вибраций машин и механизмов достигается либо воздействием на источник вибраций – переменные силы в конструкции, либо воздействием на колебательную систему, в которой эти силы действуют.

Основными направлениями борьбы с вибрацией машин и оборудования являются:

- снижение вибрации в источнике возникновения посредством снижения или ликвидации действующих переменных сил;
- отстройка от режима резонанса путем рационального выбора приведенной массы или жесткости системы;
- вибродемпфирование;
- динамическое гашение колебаний путем внесения в систему дополнительных реактивных импедансов (сопротивлений).

Виброизоляция осуществляется посредством введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибраций от машины – источника колебаний – к основанию или смежным элементам конструкции. Для виброизоляции машин с вертикальной возмущающей силой применяют виброизолирующие опоры трех типов: резиновые, пружинные и комбинированные.

Расчет виброизоляторов сводится к определению потребной упругости резиновых прокладок или пружин и определению их геометрических

параметров: диаметра, числа витков и радиуса витка пружин, высоты, площади и числа резиновых прокладок.

### Примеры решения задач

**Задача 3.1.** Рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание (фундамент) с обеспечением допустимых параметров вибрации рабочих мест в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброизоляторы пружинные; виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10 т; общий вес  $Q = 13860$  Н, в том числе подвижных частей  $Q_{п.ч} = 11300$  Н, частота колебаний  $f = 50$  Гц; максимальный кинематический момент дебалансов  $M = 5200$  Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы  $a = 0,5$  мм; размер виброплатформы 6 x 2,2 м; грунт–песок мелкий, маловлажный.

**Решение.** Расчетную схему см. на рис. 3.1.

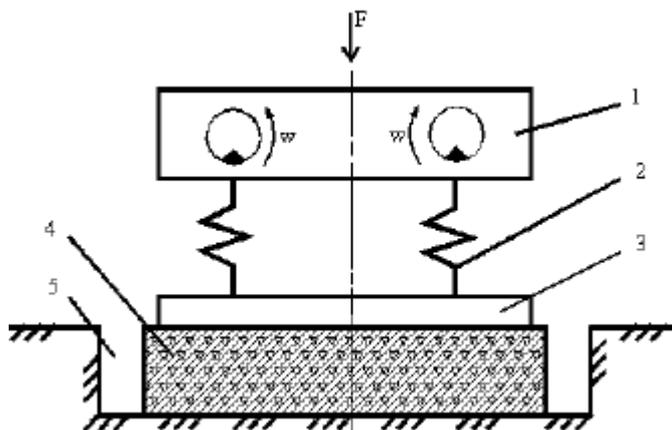


Рис. 3.1. Схема установки виброплощадки с пружинными виброизоляторами:

1 – подвижная часть виброплощадки; 2 – пружинный виброизолятор; 3 – неподвижная часть виброплощадки; 4 – виброгасящее основание (фундамент); 5 – акустический шов

Определяем динамическую силу, Н, создаваемую дебалансами вибраторов

$$F = \frac{M\omega^2}{g}, \quad (3.1)$$

где  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота вибраторов,  $s^{-1}$ ,

$$F = \frac{5200(2 \cdot 3,14 \cdot 50)^2}{981} = 522629 \text{ Н.}$$

Суммарная жесткость пружинных виброизоляторов, Н/м,

$$K = \frac{Q_{п.ч.}}{X_{ст}}, \quad (3.2)$$

где  $X_{ст}$  – принимаем равным 0,5 см,

$$K = \frac{11300}{0,005} = 22600000 \quad \text{Н/м.}$$

Собственная частота колебаний, Гц,

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{X_{ст}}}, \quad (3.3)$$

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{0,5}} = 7,05 \quad \text{Гц.}$$

Определяем коэффициент передачи

$$\mu = \frac{1}{[(f/f_0)^2 - 1]}, \quad (3.4)$$

$$\mu = \frac{1}{(50/7,05)^2 - 1} = \frac{1}{49}.$$

Динамическая сила, Н, передаваемая на основание,

$$F_0 = \frac{F}{\mu}, \quad (3.5)$$

$$F_0 = \frac{522629}{49} = 10666 \quad \text{Н.}$$

Для расчета амплитуды перемещений основания виброплощадки  $a_\phi$  необходимо найти:

- минимальную площадь основания виброплощадки,  $\text{см}^2$ ,

$$S_0 = \frac{Q}{R}, \quad (3.6)$$

где  $R = 2 \cdot 10^5$  Па – допустимое нормативное давление на грунт условного фундамента (табл. 3.1),

$$S_0 = \frac{128600}{2 \cdot 10^5} = 6430 \text{ см}^2;$$

- жесткость основания под виброплощадкой, Н/м,

$$K_\phi = F_0 C_Z, \quad (3.7)$$

где  $C_Z = 40$  Н/см<sup>3</sup> – коэффициент упругого равномерного сжатия грунта (при  $R = 1 \cdot 2 \cdot 10^5$  Па;  $C_Z = 20$  Н/см<sup>2</sup>;  $R = 2C_Z = 40$  Па;  $R = 3C_Z = 60$  Па;  $R = 4C_Z = 80$  Па;  $R = 5C_Z = 100$  Па);

$$K_\phi = 6430 \cdot 40 = 257200 \text{ Н/м};$$

- собственную частоту колебаний основания виброплощадки, Гц,

$$f_\phi = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_\phi}{m_0}}, \quad (3.8)$$

$$\text{где } m_0 = \frac{Q - Q_{п.ч}}{q},$$

$$f_\phi = \frac{1}{6,28} \sqrt{\frac{257200 \cdot 981}{2560}} = 15,8 \text{ Гц.}$$

Таблица 3.1 Допустимые нормативные давления на грунт

Наименование и состояние грунта	Дополнительное нормативное давление, $2 \cdot 10^5$ Па
Пески независимо от влажности: – крупные; – средней крупности	3,5... 4,5 2,5... 3,5
Пески мелкие: – маловлажные; – насыщенные водой	2,0...3,0 2,5...4,5
Пески пылевлажные: – маловлажные; – очень влажные; – насыщенные водой	2,0...2,5 1,5... 2,0 1,0...1,5
Супеси при коэффициенте пористости К: – 0,5; – 0,7	3,0 2,0

Суглинки при коэффициенте пористости K:	2,5...3,0
- 0,5;	1,8...2,5
- 0,7;	1,0...2,0
- 1,0	

Амплитуда перемещений основания виброплощадки, см,

$$a_{\Phi} = \frac{F_0}{K_{\Phi} \left( \frac{f^2}{f_{\Phi}^2} - 1 \right)}, \quad (3.9)$$

$$a_{\Phi} = \frac{10666}{257200 \left( \frac{50^2}{158^2} - 1 \right)} = 0,0046 \text{ см} = 0,046 \text{ мм} > a_{\text{доп}} = 0,009 \text{ мм}.$$

Допустимое значение вибросмещения  $a_{\text{доп}}$  определяется для частоты гармонической составляющей 50 Гц интерполяцией по табл. 3.2.

Таблица 3.2 Допустимые значения амплитуды вибросмещения

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения $a_{\text{доп}}$ , мм	
	с вибрирующими установками	без вибрирующих установок
2	1,4	0,57
4	0,25	0,1
8	0,063	0,025
16	0,0282	0,0112
31,5	0,0141	0,0056
63	0,0072	0,0028

При применении только пружинных виброизоляторов амплитуда перемещений основания превышает допустимые уровни. Для их снижения требуется устройство виброгасящего основания (фундамента).

Для виброплощадок с вертикально направленными колебаниями минимально необходимый вес фундамента, при котором колебания не будут превышать допустимых, определяем по формуле

$$Q_{\Phi} = \frac{q(aK + K_{\Phi}a_{\Phi})}{a_{\Phi}\omega^2} - Q_0, \quad (3.10)$$

где  $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}$  – угловая частота колебаний;  $Q_0$  – вес неподвижной части (основания) виброплощадки, Н.

Для виброплощадок, работающих с частотой не ниже 3000 кал/мин, можно пользоваться формулой

$$Q_{\Phi} = 1,1 \dots 1,2 \frac{q a K}{a_{\Phi} \omega^2},$$

$$Q_{\Phi} = 1,1 \frac{9,81 \cdot 0,0005 \cdot 22600000}{0,000009 \cdot 314^2} = 137416 \text{ Н.}$$

Принимаем вес фундамента  $Q_{\Phi} = 140000 \text{ Н}$ .

Определяем собственную частоту колебаний фундамента, Гц,

$$f_{\Phi} = \frac{1}{2\pi} \frac{K_{\Phi} q}{m_{\Phi}}, \quad (3.11)$$

$$m_{\Phi} = \frac{Q_{\Phi} + Q_0}{g},$$

Где

$$f_{\Phi} = \frac{1}{6 \cdot 28} \cdot \frac{257200 \cdot 981}{165600} = 6,22 \text{ Гц,}$$

Амплитуду перемещения фундамента определяем по формуле (3.9):

$$a_{\Phi} = \frac{10666}{257200 \left( \frac{50^2}{6,22^2} - 1 \right)} = 0,0065 \text{ мм} < a_{\text{доп}} = 0,009 \text{ мм.}$$

При применении пружинных виброизоляторов и виброгасящего основания амплитуда перемещений фундамента не превышает допустимой величины.

**Задача 3.2.** Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой железобетонной плите размерами 1,5 x 1,0 x 0,1 м, весом 3300 Н, виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц  $V = 0,08 \text{ м/с}$ , виброизоляторы – металлические пружины.

**Решение.** Приводим расчетную схему (рис. 3.2).

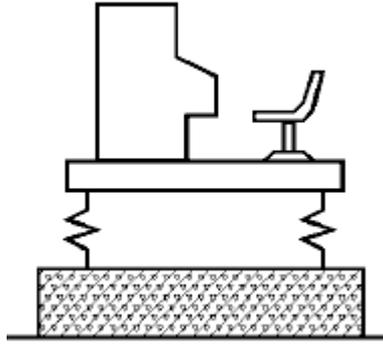


Рис. 3.2. Пассивная виброизоляция рабочего места оператора

Определяем по ГОСТ 12.1.012-90 допустимую для частоты вынужденных колебаний 63 Гц виброскорость рабочего места  $V_{\text{доп}} = 0,002$  м/с.

Общий вес виброизолированного рабочего места оператора, Н,

$$Q = Q_{\text{и}} + Q_{\text{п}}, (3.12)$$

где  $Q_{\text{и}}$  – вес оператора принимаем равным 700 Н;  $Q_{\text{п}}$  – вес железобетонной плиты, Н,

$$Q = 700 + 3300 + 4000 = 8000 \text{ Н.}$$

Определяем частоту собственных колебаний виброизолированного рабочего места, Гц,

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{1/\mu - 1}}, (3.13)$$

$$f_0 = \frac{63}{\sqrt{40 - 1}} = 8,6 \text{ Гц.}$$

Определяем статическую деформацию пружинных виброизоляторов по формуле (3.3)

$$X_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{5}{8,6}} = 0,76 \text{ см.}$$

Находим суммарную жесткость пружинных виброизоляторов по формуле (3.2)

$$K_c = \frac{400}{0,0076} = 526315 \text{ Н/м.}$$

Принимаем количество устанавливаемых пружин  $n_n = 4$ .

Жесткость одного виброизолятора, Н/м,

$$K_n = \frac{K_c}{n_n} \quad (3.14)$$

$$K_n = \frac{526315}{4} = 131578 \text{ Н/м.}$$

Расчетная нагрузка на одну пружину, Н,

$$P = \frac{Q}{n_n},$$

$$P = \frac{4000}{4} = 1000 \text{ Н.}$$

Диаметр проволоки, мм, для изготовления пружин

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{N P C}{[\tau]}}$$

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{1,2 \cdot 1000 \cdot 7}{4 \cdot 10^8}} = 0,0073 \text{ мм,}$$

где  $N$  – коэффициент, определяемый по графику (рис. 3.3);  $C = D/d = 7$  – отношение диаметра пружин к диаметру проволоки (принимается в пределах 4...10);  $[\tau]$  – допускаемое напряжение на срез (для пружинной стали » 3,0...4,5 · 10<sup>8</sup> Н/см).

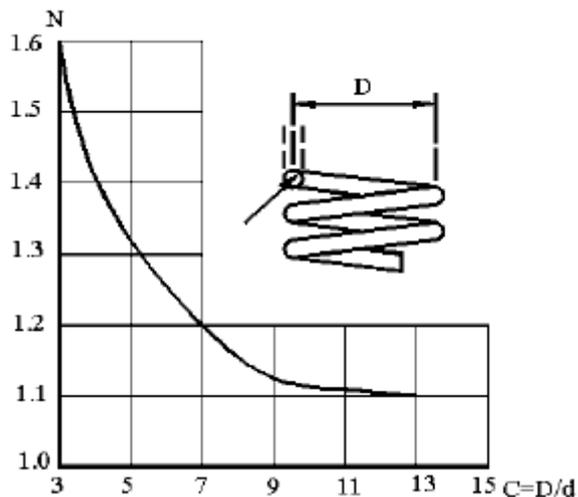


Рис. 3.3. Зависимость коэффициента  $N$  от индекса пружины  $C = D/d$

Определяем число рабочих витков пружины:

$$i = \frac{\sigma d}{8K_n C^3},$$

где  $s$  – модуль упругости на сдвиг (для стали  $8 \cdot 10^6$ ),

$$i = \frac{8 \cdot 10^6 \cdot 0,0073}{8 \cdot 131578 \cdot 7^3} = 1,62 \text{ витка.}$$

Число нерабочих витков при  $i < 7$  принимаем  $i_2 = 1,5$  витка на оба пальца пружины, а при  $i > 7$  –  $i_2 = 2,5$  витка. Полное число витков пружины  $I = i_1 + i_2 = 1,62 + 1,5 = 3,12$ .

Высота ненагруженной пружины, см,

$$H_0 = i_1 h_1 + (i_2 + 0,5) d,$$

где  $h_1 = 0,25 \dots 0,5D$ ;  $D$  – шаг пружины ( $D = C d = 7 \cdot 0,73 = 5,11$  см).

$$H_0 = 1,62 \cdot 1,53 + (1,5 + 0,5)0,73 = 3,94 \text{ см.}$$

Принимаем  $h_1 = 0,3 D = 0,3 \cdot 5,11 = 1,53$  см.

Для обеспечения устойчивости пружин, работающих на сжатие, необходимо, чтобы  $H_0/D \leq 1,5$ , т.е.  $3,94/5,11 = 0,77 < 1,5$ .

Продольная устойчивость виброплиты обеспечена.

**Задача 3.3.** Определить какая часть динамических сил от вибрации частотой 100 Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладкой из резины средней жесткости толщиной 5 см.

**Решение.** Вычертим расчетную схему (рис. 3.4).

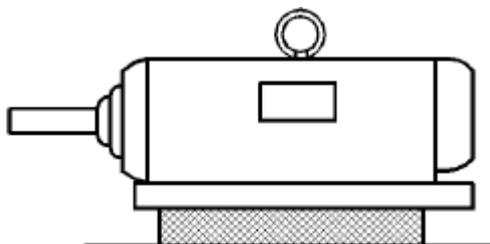


Рис. 3.4. Схема виброизоляции электродвигателя на резиновой прокладке

Определяем статическую осадку амортизаторов, см,

$$X_{CT} = 0,015 h,$$

$$X_{CT} = 0,015 \cdot 5 = 0,075 \text{ см.}$$

Число оборотов электродвигателя:

$$n = f60 ,$$

$$n = 100 \cdot 60 = 6000 \text{ об/мин.}$$

Определяем коэффициент виброизоляции

$$K = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{CT} n^2},$$

$$K = \frac{9 \cdot 10^6}{0,075 \cdot 6000^2} \gg 3\%.$$

Прокладкой из резины толщиной 5 см примерно 3% динамических сил от вибрации частотой 100 Гц будет передано основанию, а 97 % – изолировано.

**Задача 3.4.** Рассчитать виброизоляцию электродвигателя весом 1000 Н с числом оборотов  $n=3000$  об/мин.

**Решение.** Вычертим расчетную схему (рис. 3.5).

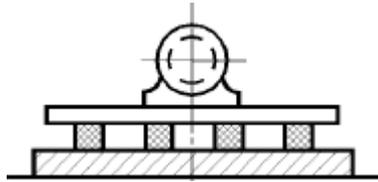


Рис. 3.5. Схема виброизоляции на резиновых прокладках

Принимаем вес фундамента в 4 раза больше веса электродвигателя. Тогда общий вес будет равен 5000 Н.

Основная частота  $f = \frac{n}{60} = \frac{3000}{60} = 50$  Гц.

Выбираем в качестве прокладок резину средней жесткости.

Находим статическую осадку резиновых прокладок, см,

$$X_{\text{СТ}} = h \frac{\sigma}{E_D},$$

где  $h$  – толщина прокладки (принимаем  $h = 6$  см),

$$X_{\text{СТ}} = 0,015 \cdot 6 = 0,09 \text{ см,}$$

Определяем частоту колебаний установки на амортизаторах по формуле (3.3)

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{0,09}} = 17 \text{ Гц.}$$

Таким образом,  $f_0 = 17$  Гц  $<$  50 Гц почти в 3 раза.

Определяем коэффициент виброизоляции

$$k = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{\text{СТ}} n^2},$$

$$k = \frac{9 \cdot 10^6}{0,015 \cdot 3000^2} = 11\%$$

Площадь всех прокладок, см<sup>2</sup>, под агрегат

$$s = \frac{P}{\sigma},$$

где  $s$  – допустимое напряжение для резины средней жесткости, Н/см<sup>2</sup>,

$$s = \frac{5000}{30} = 166 \text{ см}^2.$$

Принимаем количество прокладок 8.

Площадь одной прокладки

$$S_n = \frac{166}{8} \approx 20 \text{ см}^2.$$

Принимаем размеры резиновых прокладок 4х 5 см.

Расчет показывает, что увеличение высоты прокладки ведет к повышению статической осадки  $X_{ст}$  и снижению резонансной частоты  $f_0$ .

**Задача 3.5.** Рассчитать виброизоляцию виброплощадки с обеспечением допустимых параметров вибрации в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10 т; общий вес  $Q = 13860$  Н, в т.ч. подвижных частей  $Q_{п.ч} = 11300$  Н; частота колебаний 50 Гц; максимальный кинематический момент дебалансов  $M = 5200$  Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы  $a = 0,05$  мм; размер виброплатформы 6 х 2,2 м; амортизаторы пневморезиновые.

**Решение.** Приводим расчетную схему (рис. 3.6).

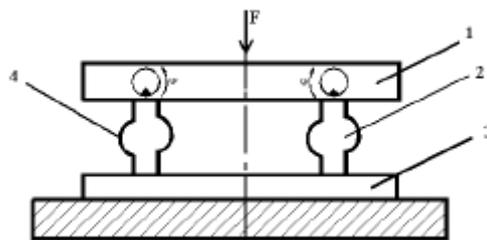


Рис. 3.6. Схема установки виброплощадки с пневморезиновым амортизатором: 1 – подвижная часть виброплощадки; 2 – камера пневморезинового амортизатора; 3 – неподвижная часть виброплощадки; 4 – резино-кордная оболочка пневморезинового амортизатора

Рассчитаем динамическую силу, создаваемую дебалансами вибраторов, по формуле (3.1)

$$F = \frac{5200(2 \cdot 3,14 \cdot 50)^2}{981} = 522629 \text{ Н.}$$

Определяем:

- суммарную эффективную площадь, см<sup>2</sup>, (рабочее давление в камерах принимаем в расчетах  $P_0 = 60 \cdot 10^4$  Па)

$$S = \frac{Q_{п.ч}}{P_0},$$

$$S = \frac{11300}{60 \cdot 10^4} = 1883 \text{ см}^2;$$

- собственную частоту колебаний, Гц,

$$f_0 = \frac{S}{2\pi} \sqrt{\frac{hP_0}{m_{п.ч}V}},$$

где  $h$  – показатель пометропы;  $V$  – объем камеры пневморезинового амортизатора, м<sup>3</sup>;

$$f_0 = \frac{1883}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{141 \cdot 60 \cdot 981}{113000 \cdot 9600}} = 262 \text{ Гц.}$$

Определяем коэффициент передачи пневморезиновых амортизаторов по формуле (3.4)

$$\mu = \frac{1}{(50/262)^2 - 1} = \frac{1}{363}.$$

Определяем динамическую силу, передаваемую на основание, по формуле (3.5)

$$F_0 = \frac{522629 \cdot 1}{363} = 1440 \text{ Н.}$$

Рассчитаем амплитуду перемещений основания виброплощадки по формуле (3.9)

$$a_\Phi = \frac{1440}{257200(50^2 / 262^2 - 1)} = 0,00062 \text{ см} = 0,0062 \text{ мм} < a_{\text{доп}} = 0,009 \text{ мм.}$$

При применении пневморезиновых амортизаторов амплитуда перемещений основания виброплощадки не превышает допустимой величины.

**Задача 3.6.** Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой плите размерами 1,5 x 1,0 x 0,1 м весом 3300 Н; виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц составляет  $V = 0,08$  м/с; виброизоляторы резиновые.

**Решение.** Для виброизоляции рабочего места оператора применяем 4 резиновых виброизолятора, изготовленных из резины марки 3311 (табл. 3.3).

Таблица 3.3 Характеристика резины, используемой для виброизоляторов

Марка резины	Модуль упругости, $1 \cdot 10^5$ Па		Коэффициент неупругого сопротивления $\eta$
	динамический $E_d$	Статически $E_{ст}$	
ИРП-1347	54	33	0,09
2566	38	24	0,11
СУ-363	153	51	0,15
8508	126	31	0,15
4326	226	60	0,16
Н068	166	39	0,17
199	196	40	0,208
122	206	73	0,21
9831	166	36	0,25
3826	236	46	0,30
25424	314	46,5	0,32
3311	250	16	0,038
2959	63	30	0,14
56	72	37	0,16

Вычерчиваем расчетную схему (рис. 3.7).

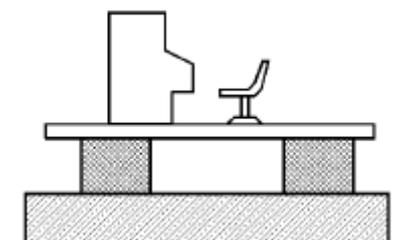


Рис. 3.7. Схема виброизоляции рабочего места оператора с помощью резиновых амортизаторов

Определяем площадь сечения виброизоляторов, см<sup>2</sup>,

$$S = \frac{Q}{\sigma},$$

где  $Q = Q_{\text{п}} + Q_o = 3300 + 4000$  Н;  $Q_{\text{п}}$  – вес плиты;  $Q_o$  – вес оператора, принимаем  $Q_o = 700$  Н;  $s = 2 \dots 4 \cdot 10^5$  Па – расчетное статическое напряжение в упругом материале амортизатора (принимаем  $s = 3 \cdot 10^5$  Па),

$$S = \frac{4000}{30} = 133,3 \text{ см}^2.$$

Площадь одного виброизолятора

$$S_{\text{в}} = \frac{S}{n_{\text{в}}},$$

$$S_{\text{в}} = \frac{133,3}{4} = 33,3 \text{ см}^2.$$

Суммарная жесткость виброизоляторов, Н/см<sup>2</sup>,

$$K_{\text{с}} = m\omega^2 = 4\pi^2 f_0^2 \frac{Q}{q},$$

где  $f_0$  – частота собственных колебаний, Гц,

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{1/\mu - 1}}, \quad (3.15)$$

где  $m$  – коэффициент передачи

$$\mu = \frac{V_{\text{доп}}}{V},$$

$V_{\text{доп}}$  принимаем равным 0,002 м/с,

$$\mu = \frac{0,002}{0,08} = \frac{1}{40}.$$

Тогда  $f_0 = \frac{63}{\sqrt{40 - 1}} = 8,6$  Гц,

$$K_c = 4 \cdot 3,14^2 \cdot 8,6^2 \frac{4000}{981} = 11894 \text{ Н/см}^2.$$

Расчетную высоту виброизоляторов (высота деформируемой части) определяем как

$$H_p = \frac{E_d}{K_c}, \quad (3.16)$$

$$H_p = \frac{250 \cdot 1333}{11894} = 2,8$$

Принимаем  $H_p = 3$  см.

Принимаем сечение виброизолятора – квадрат со стороной 5,8 см, тогда  $S_{пв} = 33,64 \text{ см}^2$ .

Определяем полную высоту:

$$H = H_p + \frac{d}{8}, \quad (3.17)$$

$$H = 3 + \frac{5,8}{8} = 3,7 \text{ см.}$$

Резиновые виброизоляторы сохраняют устойчивость от опрокидывания в процессе эксплуатации при условии  $H < d < 1,5...2,0 H$ .

Фактическая жесткость принятых резиновых виброизоляторов,  $\text{Н/см}^2$ ,

$$K = \frac{E_d S_{пв}}{H_p}, \quad (3.18)$$

$$K = \frac{250 \cdot 33,64 \cdot 4}{3,0} = 11213 \text{ Н/см}^2.$$

Определяем фактическую частоту собственных колебаний, Гц, виброизолированного рабочего места:

$$f_0 = \sqrt{\frac{Kg}{Q}}, \quad (3.19)$$

$$f_0 = \sqrt{\frac{11213 \cdot 981}{4000}} = 8,35 \text{ Гц.}$$

Определяем коэффициент передачи по формуле (3.4)

$$\mu = \frac{1}{\frac{63^2}{8,35^2} - 1} = \frac{1}{57}.$$

Расчетное значение виброскорости, м/с, виброизолированного рабочего места оператора

$$V_0 = \frac{V}{\mu}, \quad (3.20)$$

$$V_0 = \frac{0,08}{57} = 0,0014 \text{ м/с} < V_{\text{доп}} = 0,002 \text{ м/с.}$$

Применение резиновых виброизоляторов обеспечит виброзащиту рабочего места оператора.

**Задача 3.7.** Установить эффективность виброизоляции вентиляционной установки с электрическим приводом, если вес установки  $P = 1300$  кгс; частота вращения вала электродвигателя  $n = 850$  об/мин; количество виброизоляторов (с одной пружиной)  $N = 4$  шт. Допустимая амплитуда смещения  $a_z = 0,12$  мм.

**Решение.** Вычертим расчетную схему (рис. 3.8).

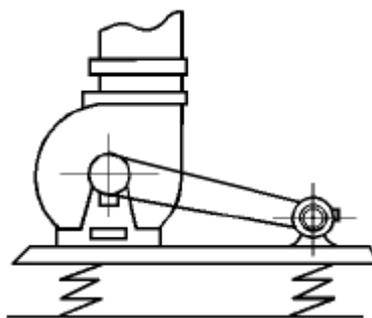


Рис. 3.8. Схема виброизоляции вентиляционной установки с помощью пружинных амортизаторов

Принимаем соотношение вынужденных и собственных колебаний равным 4; допустимое напряжение на кручение  $[t] = 4,2 \cdot 10^3$  кгс/см<sup>2</sup>; модуль сдвига  $s = 8 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>; индекс пружины  $c = 4$ , коэффициент  $K_p = 1,4$ .

Определяем частоту вынужденных колебаний, Гц,

$$f = \frac{n}{60}, \quad (3.21)$$

$$f = \frac{850}{60} = 14,2 \text{ Гц},$$

так как  $f/f_0 = 4$ , частота собственных колебаний, Гц,

$$f_0 = \frac{f}{4}, \quad (3.22)$$

$$f_0 = \frac{14,2}{4} = 3,6 \text{ Гц}.$$

Находим суммарную жесткость виброизоляторов, Н/см,

$$K_Z = mf_0^2, \quad (3.23)$$

где  $m$  – масса фундамента с установкой, Н,

$$m = \frac{P}{g},$$

$$m = \frac{1300}{9,8} = 1327 \text{ Н},$$

$$K_Z = 1327 \cdot 3,6^2 = 17198 \text{ Н/см}.$$

Жесткость одной пружины, Н/см,

$$K_Z^1 = \frac{K_Z}{4},$$

$$K_Z^1 = \frac{17198}{4} = 4299,5 \text{ Н/см}.$$

Определяем динамическую нагрузку, Н, на одну пружину в рабочем режиме изолируемого устройства:

$$P_{\text{дин}}^1 = a_Z K_Z^1,$$

$$P_{\text{дин}}^1 = 0,012 \cdot 42995 = 516 \text{ Н.}$$

Расчетная нагрузка на одну пружину:

$$P_Z^1 = \frac{P}{n} + 1,5K_Z^1(V_0 + V), \quad (3.24)$$

где  $V_0$  – среднеквадратичная виброскорость рабочего места ( $V_0 = 0,002$  м/с),  $V$  – среднеквадратичная виброскорость основания виброплощадки ( $V = 0,09$  м/с);

$$P_Z^1 = \frac{13000}{4} + 1,5 \cdot 42995(0,002 + 0,09) = 3843 \text{ Н.}$$

Диаметр проволоки, см, цилиндрических винтовых пружин определяем по формуле

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{K_p P_Z^1 C}{[\tau]}}, \quad (3.25)$$

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{1,4 \cdot 3843 \cdot 4}{4,2 \cdot 10^3}} = 3,5 \text{ см.}$$

Определяем число витков пружины

$$i = \frac{\sigma d}{8c^3 K_z^1}, \quad (3.26)$$

$$i = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 3,5}{8 \cdot 4^3 \cdot 42995} = 13$$

Полное число витков пружин:

при  $i < 7$   $i_{\text{п}} = i + 1,5$

при  $i > 7$   $i_{\text{п}} = i + 2,5$   $i_{\text{п}} = 13 + 2,5 = 15,5.$

Высота пружины, см,

$$H = (i_n - 0,4)d, \quad (3.27)$$

$$H = (15,5 - 0,4)3,5 = 53_{\text{см.}}$$

Рассчитаем коэффициент передачи виброизоляции по формуле (3.4)

$$\mu = \frac{1}{\left[ \left( \frac{14,2}{3,6} \right)^2 - 1 \right]} = \frac{1}{14}$$

Так как отношение  $f/f_0 > 1,4$ , устройство виброизоляции обладает защитными свойствами.

**Задача 3.8.** Рассчитать пассивную виброизоляцию под вентиляционную установку и ее эффективность, если масса установки  $P = 260$  кгс; частота вращения вала электродвигателя  $n = 850$  об/мин; расчетная амплитуда вертикальных колебаний установки  $a_z = 0,0028$  мм; виброизоляторы выполнены из четырех одинарных пружин с размещением между пружинами и несущей конструкцией резиновых прокладок (при расчете их влияние не учитывается); допускаемое напряжение на кручение для пружинной стали  $[t] = 4,2 \cdot 10^3$  кгс/см<sup>2</sup>; модуль сдвига  $s = 8 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>; индекс  $c = 4$ ;  $K_p = 1,4$ .

**Решение.** Вычерчиванием расчетную схему установки (рис. 3.9).

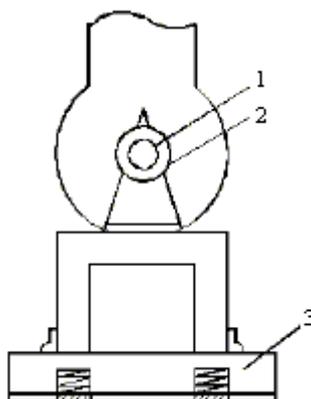


Рис. 3.9. Схема вентиляционной установки: 1 – электродвигатель; 2 – воздуховод; 3 – основание установки

Принимаем отношение  $f/f_0 = 3$ .

Определяем частоту вынужденных колебаний по формуле (3.21)

$$f = \frac{850}{60} = 14 \text{ Гц.}$$

Тогда по формуле (3.20)

$$f_0 = \frac{14}{3} = 4,7 \text{ Гц.}$$

Находим общую жесткость пружин, кгс/см,

$$K_Z = \frac{P f_0^2}{25}, \quad (3.28)$$

$$K_Z = \frac{260 \cdot 4,7^2}{25} = 229 \text{ кгс/см.}$$

Определяем статический прогиб, см,

$$X_{CT} = \frac{P}{K_Z}, \quad (3.29)$$

$$X_{CT} = \frac{260}{229} = 1,14 \text{ см.}$$

Диаметр проволоки цилиндрических пружин, см,

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{K_p P^1 c}{[\tau]}},$$

где  $P^1$  – расчетная нагрузка на одну пружину, кгс, определяется по формуле

$$P^1 = P_{CT} + 1,5a_Z K_Z^1,$$

$$\text{так как } P_{CT} = \frac{P}{4} = \frac{260}{4} = 65 \text{ кгс; } K_Z^1 = \frac{K_Z}{4} = \frac{229}{4} = 57,25 \text{ кгс/см,}$$

$$\text{то } P^1 = 65 + 1,5 \cdot 0,0028 \cdot 57,25 = 65 + 24 = 89 \text{ кгс,}$$

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{1,4 (65 + 24) 4}{4,2 \cdot 10^3}} = 0,47 \text{ см.}$$

Находим число витков пружины по формуле (3.26):

$$i = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,5}{8 \cdot 4^3 \cdot 57,25} = 13,64,$$

где  $d$  – принимаем по ГОСТ 12.1.012-90 равным 0,5 см.

Полное число витков пружины

$$\text{при } i > 7 \quad i_n = i + 2,5;$$

$$\text{при } i < 7 \quad i_n = i + 1,5:$$

В данном примере  $i_n = i + 2,5 = 13,64 + 2,5 = 16,14$ .

Высота пружины, сжатая до соприкосновения витков:

$$H = (i_n - 0,4) d,$$

$$H = (16,14 - 0,4)0,5 = 7,87 \text{ см.}$$

Коэффициент передачи определяем по формуле (3.4)

$$\mu = \frac{1}{[(14,7/4,7)^2 - 1]} = 0,125$$

Эффективность виброизоляции, дБ,

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{\mu}, \quad (3.30)$$

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{0,125} = 18 \text{ дБ.}$$

Вибрация установки 18 дБ не превысит техническую норму согласно ГОСТ 12.1.012-90.

**Задача 3.9.** Определить, на сколько децибел улучшится виброизоляция на частоте вращения вентилятора  $f$ , если жесткость амортизаторов уменьшить вдвое; вентиляционная установка закреплена с помощью амортизаторов на перекрытии складского помещения; статический прогиб амортизаторов  $X_{ст} = 5$  мм.

**Решение.** Под виброизоляцией понимается величина

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{\mu},$$

при отношении  $f/f_0$ , 3 выражение принимает вид:

$$\Delta L = 20 \lg \left( \frac{f}{f_0} \right)^2. \quad (3.31)$$

Найдем разность

$$\Delta L_2 - \Delta L_1 = 20 \lg \left( \frac{f}{f_{01}} \right)^2 - 20 \lg \left( \frac{f}{f_{02}} \right)^2. \quad (3.32)$$

Учитывая, что  $X_{ст2} = 2X_{ст1}$  (по условию) и  $f_0 = 5/\sqrt{X_{ст}}$ , определим по формуле (3.32)

$$\Delta L_2 - \Delta L_1 = 20 \lg \left( \frac{f \sqrt{2 \cdot 5}}{5} \right)^2 - 20 \lg \left( \frac{f \sqrt{5}}{5} \right)^2 = 20 \lg 2 = 6 \text{ дБ.}$$

Таким образом, виброизоляция на основной частоте вращения вентиляционной установки улучшится на 6 дБ.

**Задача 3.10.** Дизель-генератор массой  $m = 2000$  кгс установлен на шести резинометаллических амортизаторах с суммарной жесткостью  $K_Z = 18 \cdot 10^5$  Н/м; частота вращения вала установки  $n = 750$  об/мин. Сравнить параметры вибрации с допустимыми значениями по ГОСТ 12.1.012-90.

**Решение.** Определяем круговую частоту вынужденных колебаний,  $c^{-1}$ ,

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{n}{60}, \quad (3.33)$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \frac{750}{60} = 78,5 \text{ c}^{-1}.$$

Рассчитаем статическую осадку амортизаторов установки, м,

$$X_{ст} = \frac{mg}{K_Z}, \quad (3.34)$$

$$X_{CT} = \frac{2000 \cdot 9,81}{18 \cdot 10^5} = 0,011 \text{ м.}$$

Круговая частота собственных колебаний установки на амортизаторах, с<sup>-1</sup>, составит:

$$\omega_0 = 2\pi \frac{0,5}{\sqrt{X_{CT}}} \approx 30 \text{ с}^{-1}.$$

Найдем максимальную амплитуду колебаний, м, если  $\sin \omega t = 1$ :

$$a = X_{CT} \left( \frac{1}{1 - \omega^2 / \omega_0^2} \right), \quad (3.35)$$

$$a = 0,011 \left( \frac{1}{1 - 78,5^2 / 30^2} \right) = 0,0019 \text{ м.}$$

Определяем частоту вынужденных колебаний, Гц, по формуле (3.33)

$$f = \frac{\omega}{2\pi},$$

$$f = \frac{78,5}{2 \cdot 3,14} = 12,5 \text{ Гц.}$$

Ближайшая к частоте 12,5 Гц стандартная среднегеометрическая частота  $f_{\text{ср.ч}} = 16 \text{ Гц}$  (ГОСТ 12.1.012-90).

Нижняя граничная частота, Гц, октавы определяется по формуле

$$f_H = \frac{f_{\text{ср.ч}}}{1,41}, \quad (3.36)$$

$$f_H = \frac{16}{1,41} = 11,35 \text{ Гц.}$$

Верхняя граничная частота, Гц,

$$f_B = 2f_H,$$

$$f_B = 2 \cdot 11,35 = 22,7 \text{ Гц.}$$

Оценку вибрации, таким образом, будем вести для октавной полосы с  $f_{\text{ср.ч.}} = 16$  Гц.

Находим значение виброскорости, м/с,

$$V = 2\pi f a, \quad (3.37)$$

$$V = 2 \cdot 3,14 \cdot 12,5 \cdot 0,0019 = 0,149 \text{ м/с.}$$

Уровень виброскорости, дБ, составит:

$$L_V = 20 \lg \frac{V}{V_0}, \quad (3.38)$$

$$L_V = 20 \lg \frac{0,149}{5 \cdot 10^{-8}} = 129 \text{ дБ.}$$

Фактические параметры превышают допустимые на 37 дБ при 16 Гц согласно ГОСТ 12.1.012-90.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Охрана труда в грузовом хозяйстве железных дорог. С примерами решения задач / В.И. Бекасов, Н.В. Лысенко, В.А. Муратов и др. – М.: Транспорт, 1981.
2. Филиппов, Б.И. Охрана труда при эксплуатации строительных машин / Б.И. Филиппов. – М.: Высшая школа, 1984.
3. Инженерные решения по охране труда в строительстве: Справочник строителя / Под ред. Г.Г. Орлова. – М.: Стройиздат, 1985.
4. Пчелинцев, В.А. Охрана труда в строительстве / В.А. Пчелинцев, Д.В. Коптев, Д.Д. Орлов и др. – М.: Высшая школа, 1991.
5. Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1972.
6. Бобин, Е.В. Борьба с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте

## 4. ЗАЩИТА ОТ ШУМА

На железнодорожном транспорте успешно выполняются мероприятия по технической реконструкции, внедряются средства автоматизации и механизации во всех отраслях железнодорожного транспорта, строятся и реконструируются многие депо и ремонтные заводы. Вся эта работа проводится с учетом требований по охране здоровья трудящихся, улучшению условий труда и отдыха. Однако на предприятиях имеется еще много агрегатов и технологических процессов, шум которых превышает нормы. На некоторых предприятиях при внедрении новых технологических процессов шум в производственных помещениях возрос.

Интенсивные производственные шумы неблагоприятно воздействуют на организм человека и могут привести к различным заболеваниям. При работе в условиях шума снижается производительность труда.

Уменьшение воздействия шума на работающего до допустимых величин является одним из неперенных условий оздоровления условий труда и повышения его производительности.

### Примеры решения задач

**Задача 4.1.** Рассчитать снижение шума за экраном, если открытое стойло реостатных испытаний тепловозов расположено на расстоянии 90 м от жилого района. Расстояние от тепловоза до экрана  $a = 5$  м, от экрана до жилого района  $b = 85$  м. Высота тепловоза  $h = 5$  м, высота экрана  $H = 8$  м. Окна жилого дома расположены на расстоянии от земли  $K = 2$  м.

**Решение.** Приводим расчетную схему (рис. 4.1).

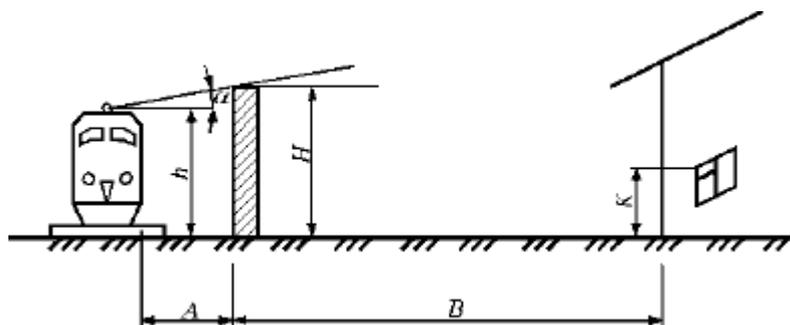


Рис. 4.1. Схема для расчета эффективности экрана:  $a$  – расстояние от источника шума до экрана;  $b$  – расстояние от экрана до защищаемого здания;  $h$  – высота источника шума;  $H$  – высота экрана;  $K$  – высота точки приема звука

Рассчитываем эффективность экрана методом Реттингера, для чего определим критерий затухания  $M$  [1; 2]:

– при расположении источника шума и рабочего места на одном уровне

$$M = \frac{1,414}{\lambda} \sqrt{\frac{a + \sigma}{a \sigma}} ; (4.1)$$

– при расположении источника шума и рабочего места в различных уровнях

$$M = \left( H + \frac{\sigma(H-h)}{a} - K \right) \sqrt{\frac{2a \cos \alpha}{\lambda \sigma (a + \sigma)}} ; (4.2)$$

где  $l$  – длина волны,  $m$  (остальные величины показаны на расчетной схеме).

В рассматриваемой задаче источник шума и рабочее место расположены в разных уровнях.

Критерий затухания  $M$  определяем для октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Рассчитываем критерий затухания  $M$  для частоты 31,5 Гц

$$M_{31,5} = \left( 8 + \frac{85(8-5)}{5} - 2 \right) \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot 0,85}{10,8 \cdot 85(5+85)}} = 0,57 \text{ Гц.}$$

Расчет повторить для остальных среднегеометрических октавных частот.

По графику (рис. 4.2) определяем снижение шума  $D L_{\text{экp}}$  для частоты 31,5 Гц,  $D L_{\text{экp}} = 10$  дБ.

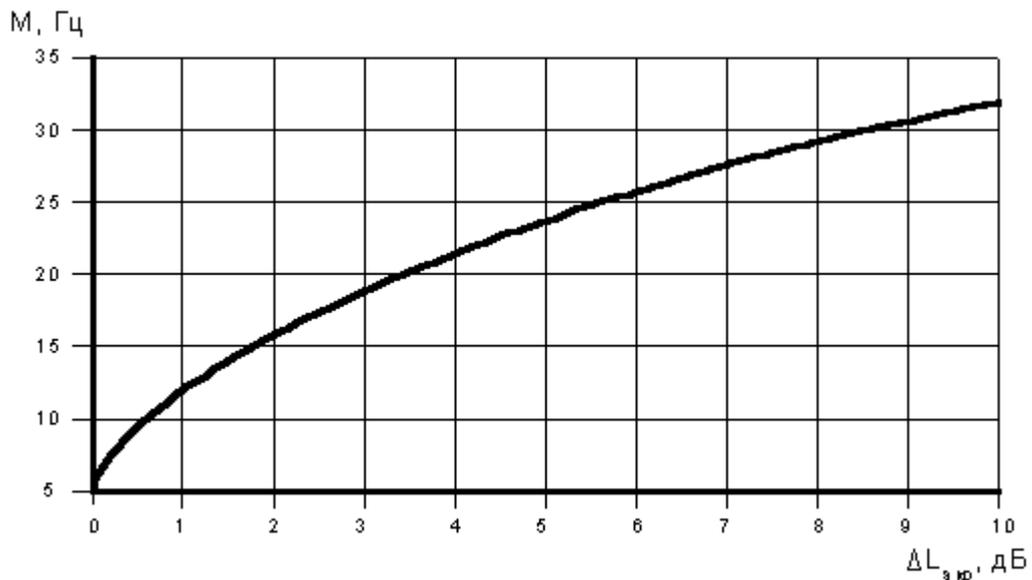


Рис. 4.2. Зависимость эффективности экрана от критерия М

Результаты расчета сводим в табл. 4.1.

Таблица 4.1 Расчет снижения шума тепловоза экраном

Расчетная величина	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\lambda = \frac{C}{\gamma}$	10,8	5,4	2,72	1,36	0,68	0,34	0,17	0,085	0,048
М	0,57	2,62	3,65	5,13	7,41	10,26	14,8	20,5	29,0
$D L_{\text{экр}}$	10	21	24	27,1	30	30	30	30	30

Сравнивая полученные данные с ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ делаем вывод: экран может защитить от шума тепловозов жилой район.

**Задача 4.2.** Расчетные уровни звукового давления L в октавных полосах частот на погрузо-разгрузочной площадке грузового двора и предельный спектр в зоне жилой застройки (на расстоянии  $y = 30$  м) заданы в табл. 4.2.

Таблица 4.2 Исходные данные для расчета

Среднегеометрическая частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ, на погрузо-разгрузочной площадке	70	60	62	60	55	51	50	46	38
Предельный спектр в зоне жилой застройки	72	67	57	49	44	40	37	35	33

Определить, будет ли обеспечено снижение шума до нормируемого значения, если построить забор из железобетонных панелей высотой  $H = 3$  м.

Расчетная точка (РТ) в зоне жилой застройки и источник шума (ИШ) расположены на одном уровне.

Расстояние от экрана до наиболее удаленного ИШ (ширина погрузо-разгрузочной площадки)  $x = 20$  м.

**Решение.** Вычертим поперечный разрез места расположения ИШ, экрана и РТ (рис. 4.3).

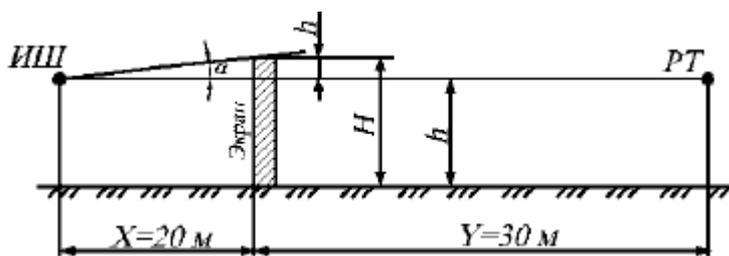


Рис. 4.3. Схема расположения экрана относительно источника шума ИШ и расчетной точки РТ

Определим критерий затухания М (см. задачу 4.1), по которому из графика на рис. 4.2 находим величину снижения шума D L. Расчет представим в табличной форме (табл. 4.3).

Таблица 4.3 Результаты расчета

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
l	10,8	5,40	2,72	1,36	0,68	0,34	0,17	0,085	0,043
M	0,001	0,18	0,25	0,35	0,49	0,70	0,99	1,40	1,97
L	55	60	62	60	55	51	50	46	38
D L	5	7	8	9	10	12	14	17	19
L – D L	50	53	54	51	45	39	36	29	19
L по СН	83	67	57	49	44	40	37	35	33
Превышение	–	–	–	2	1	–	–	–	–

Превышения нормы, зафиксированные в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250 и 500 Гц, находятся в пределах точности измерений. Поэтому практически можно считать, что применение экрана позволило снизить уровень шума в зоне жилой застройки до нормы.

**Задача 4.3.** Произвести оценку уровня звука в расчетной точке на территории больницы, который создает вентиляционная установка, расположенная на расстоянии 280 м от больницы. Уровень звукового давления, создаваемый вентиляционной установкой, составляет 100 дБА. Между источником шума и расчетной точкой расположена однорядная зеленая зона шириной 18 м.

**Решение.** Уровень звука в расчетной точке на территории защищаемого от шума объекта вычисляем по формуле

$$L_{A\text{тер}} = L_A - \Delta L_{A\text{расст}} - \Delta L_{A\text{зел}}, \quad (4.3)$$

где  $L_A$  – уровень звукового давления, создаваемый источником шума (вентиляционной установкой), дБА;  $D L_{\text{Арасст}}$  – снижение уровня звука в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой, дБА (определяем по рис. 4.4);  $L_{\text{Азел}}$  – снижение уровня звука полосами зеленых насаждений, дБА (табл. 4.4).

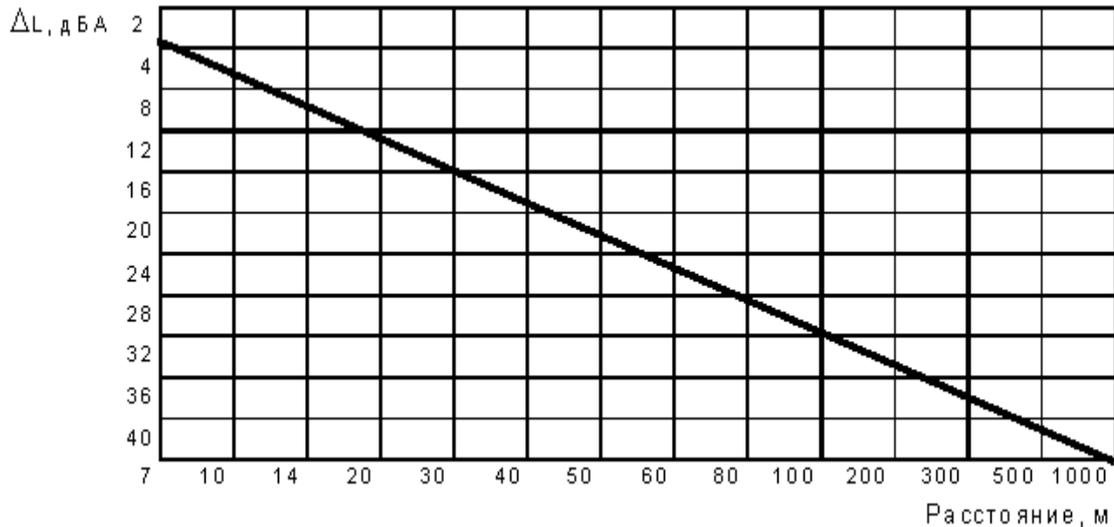


Рис. 4.4. Снижение уровня звукового давления в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой

Таблица 4.4 Снижение уровня звука полосами зеленых насаждений

Полоса зеленых насаждений	Ширина полосы, м	Снижение уровня звука $D L$ , дБА
Однорядная	12	5
Однорядная	18	8
Двухрядная	23	10
Двух-трехрядная	28	12

Определяем уровни звука в расчетной точке по формуле (4.3)

$$L_{\text{Атер}} = 100 - 27 - 8 = 60 \text{ дБА.}$$

Требуемое снижение уровня шума в расчетной точке для выполнения норм в селитебной зоне определяем по формуле

$$\Delta L_{\text{Атреб}} = L_{\text{Атер}} - L_{\text{Анорм}}, \quad (4.4)$$

где  $L_{\text{Анорм}}$  – нормируемое значение уровня звукового давления, дБА, определяем по СНиП II-12-77 “Защита от шума”.

$$\text{Тогда } D L_{\text{Атреб}} = 60 - 35 = 25 \text{ дБА.}$$

Полученную величину сравниваем с показателями, определяющими класс условий труда в зависимости от уровня шума рабочих мест (превышение ПДУ), приведенных в табл. 4.5.

Таблица 4.5 Классы условий труда

Фактор	Класс условий труда					
	допустимый	вредный				опасный (экстремальный)
		I степени	II степени	III степени	IV степени	
Шум (эквивалентный уровень звука), дБА	ПДУ	10	25	40	50	>50

После сравнения полученных данных при необходимости предлагаем мероприятия по снижению шума.

**Задача 4.4.** Рассчитать общее снижение шума  $CШ_0$  в жилом районе, расположенном в 90 м от пункта реостатных испытаний, за счет расстояния от источника шума, поглощения в воздухе и зелеными насаждениями. Расстояние от тепловоза до экрана, высота экрана и другие данные приведены на рис. 4.1 и в задаче 4.1. Ширина зоны зеленых насаждений между экраном и жилым зданием составляет 30 м.

**Решение.** Общее снижение шума  $CШ_0$ , дБ, за счет расстояния до источника поглощения в воздухе, экрана и зеленых насаждений вычисляется по формуле

$$CШ_0 = \beta_2 - \Delta\beta_{\text{экр}} - \Delta\beta_{\text{зн}}, \quad (4.5)$$

где  $\beta_2$  – снижение шума за счет расстояния до источника, дБ, определяем по формуле

$$\beta_2 = \beta_1 - 20 \lg r_2 - \Delta - 8, \quad (4.6)$$

где  $\beta_1$  – уровень звукового давления, соответствующий среднегеометрической частоте октавной полосы, дБ;  $r_2$  – расстояние до источника шума, м;  $\Delta$  – дополнительное затухание шума, происходящее за счет поглощения звуковых колебаний в воздушной среде, рассчитываем по формуле

$$\Delta = 6 \cdot 10^{-6} f r_2, \quad (4.7)$$

где  $f$  – частота звуковых колебаний, Гц (среднегеометрическая частота)  $\Delta\beta_{\text{экр}}$  – снижение шума экранирующим сооружением, определяем по формулам (4.1) и (4.2), дБ;  $\Delta\beta_{\text{зн}}$  – снижение шума зелеными насаждениями, для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц составляет [1]:

$$\Delta\beta_{\text{зн}} = 0,3 \cdot 30 = 9 \text{ дБ.}$$

Расчет проводим для всех октавных полос частот. Для примера рассчитаем снижение для одной октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц.

Снижение шума за счет расстояния (90 м) и поглощения  $\beta_2$  определяем по приведенной выше формуле (4.6). Величину  $\beta_1$  принимаем по [1, табл. 48]:

$$\beta_2 = 105 - 20 \lg 90 - (6 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 \cdot 90) - 8 = 57 \text{ дБ.}$$

Снижение шума экраном рассчитано в задаче 4.1 и составляет 30 дБ.

Общее снижение шума составит:

$$\text{СШ}_0 = 57 - 30 - 9 = 18 \text{ дБ.}$$

**Задача 4.5.** В сложившейся зоне жилой застройки источник создает тональный шум с уровнем звука  $L_{\text{ист}} = 45$  дБА. Определить удовлетворяют ли параметры шума в период с 23 до 7 часов утра.

**Решение.** Нормируемый уровень шума в приведенной ситуации  $L_{\text{нор}} = 45$  дБА (табл. 4.6).

Таблица 4.6 Нормированные уровни шума в зоне жилой застройки

Назначение помещения или территории	Уровень звукового давления, дБА								Уровень звука и $L_{\text{экв}}$ , дБА
	63	125	250	500	1к	2к	4к	8к	
1. Жилые здания:									
а) жилые комнаты квартир									
с 7 до 23 ч;	63	52	45	39	35	32	30	28	40
с 23 до 7 ч;	55	44	35	29	25	22	20	18	30
б) жилые комнаты в общежитиях									
с 7 до 23 ч;	67	57	49	44	40	37	35	33	45
с 23 до 7 ч;	59	48	40	34	30	27	25	23	35
в) территории жилой застройки									
с 7 до 23 ч;	75	66	59	54	50	47	45	43	55
с 23 до 7 ч	67	57	49	44	40	37	35	33	45
2. Места отдыха:									
площадки отдыха в микрорайонах	67	57	49	44	40	37	35	33	45
3. Детские дошкольные и школьные учреждения:									
а) спальные помещения									
с 7 до 23 ч;	63	52	45	39	35	32	30	28	40
с 23 до 7 ч;	35	44	35	29	25	22	20	18	30
б) классные помещения в школах	63	52	45	39	35	32	30	28	40
4. Учебные заведения, НИИ, административные здания:									
а) аудитории;	63	52	45	39	35	32	30	28	40
б) рабочие помещения управления	71	61	54	49	45	42	40	38	50
5. Вокзалы: пассажирские залы аэровокзалов, железнодорожных и автовокзалов	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Нормированные значения уровней звука для некоторых помещений приведены в последней колонке табл. 4.6.

Шум – тональный по условию задачи, нормируемый уровень должен быть скорректирован с учетом поправки  $L_{\text{тон}} = -5$  дБА (табл. 4.7)

Таблица 4.7 Поправки к нормируемым уровням

Влияющий фактор	Характер шума, район или длительность	Поправка дБ/дБА
Характер шума	Широкополосный	0
	Тональный или импульсный	-5
Местоположение объекта	Курортный район	-5
	Новый проектируемый городской жилой район	0
	Жилая застройка, расположенная в существующей (сложившейся) застройке	5
Длительность воздействия прерывистого шума в дневное время	Суммарная длительность, %, за наиболее шумные 30 мин:	0
	56 и более;	5
	18–56	10
	8	15
	менее 6	

Поправки, приведенные в табл. 4.7, на местоположение объекта учитываются только при оценке шума в жилых помещениях, спальнях и на территории жилой застройки, который создается внешним источником.

При этом длительность действия шума должна быть подтверждена расчетом или технической документацией на источник .

Кроме того, необходимо ввести поправку на сложившуюся зону жилой застройки, которая приведена в табл. 4.7:  $L_{слж} = + 5$  дБА.

Предельный уровень звука, дБ, определяем суммированием

$$L_{доп} = L_{ист} + L_{тон} + L_{слж}$$

$$L_{доп} = 45 + (-5) + 5 = 45 \text{ дБ.}$$

Таким образом, для сложившейся жилой застройки параметры шума источника не превышают допустимых значений

**Задача 4.6.** По данным измерений, проведенных санитарно-эпидемиологической станцией (СЭС), уровни звукового давления в помещении диспетчерской грузового двора превышают предельно допустимые значения. Величины превышений в октавных полосах частот, определенные СЭС, приведены ниже:

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Величина превышения $D L$ , дБ	6	10	14	15	14	13

Предложить мероприятия по снижению уровня шума и оценить их эффективность.

**Решение.** Для снижения уровня шума до допустимых пределов применим акустическую обработку потолка. Выбор материала и конструкции звукопоглощающей облицовки проводим в следующем порядке:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{\alpha_2 S}{\alpha_1 S} = 10 \lg \frac{\alpha_2}{\alpha_1}, \quad (4.8)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – соответственно коэффициенты звукопоглощения потолка до и после акустической обработки (табл. 4.8 и 4.9);  $S$  – площадь потолка,  $\text{м}^2$ .

Определим неизвестную величину  $\alpha_2$  для каждой октавной полосы, где имеет место превышение:

$$\alpha_2 = 10^{(0,1 \Delta L + \lg \alpha_1)}. \quad (4.9)$$

Таблица 4.8 Коэффициенты звукопоглощения  $\alpha_1$  некоторых строительных материалов

Материал	Октавные полосы частот, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Бетон	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Древесноволокнистая плита	0,18	0,11	0,19	0,39	0,95	0,56
Дощатый пол на деревянных балках	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Паркет по асфальту	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Линолеум на твердом основании	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Паркет по деревянному основанию	0,10	0,10	0,10	0,08	0,06	0,06
Стена кирпичная нештукатуренная	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Стена кирпичная оштукатуренная и окрашенная масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Сухая штукатурка	0,02	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05
Мрамор	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Остекление	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04

Таблица 4.9 Коэффициенты звукопоглощения  $\alpha_2$  звукопоглощающих конструкций

Звукопоглощающий материал и конструкции	Октавные полосы частот, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Акустическая плита из минеральной ваты на синтетическом связующем, укрепленная вплотную к ограждению (толщина 20 мм)	0,1	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 50 мм	0,05	0,42	0,98	0,90	0,79	0,45
Перлитовая акустическая плита, укрепленная вплотную к	0,05	0,33	0,60	0,88	0,58	0,70

ограждению (толщина 30 мм)						
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 50 мм	0,15	0,68	0,79	0,61	0,60	0,63
Плита на основе гранул минеральной ваты на крахмальном связующем “Акмигран”, укрепленная вплотную к ограждению (толщина 20 мм)	0,04	0,20	0,59	1,00	0,93	0,81
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 50 мм	0,25	0,66	0,91	0,93	1,00	0,90
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 200 мм	0,75	0,87	0,70	0,87	1,00	1,00
Акустическая плита “Вибровулкан”, укрепленная вплотную к ограждению (толщина 45 мм)	0,18	0,34	0,63	0,95	0,85	0,97
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 50 мм	0,20	0,62	0,92	0,81	0,86	0,96
То же, но укрепленная с воздушным промежутком 100 мм	0,30	0,87	0,96	0,65	0,90	0,98
Минераловатная плита на крахмальном связующем “Стеллит” толщиной 10 мм, задрапированная гипсовой перфорированной плитой толщиной 6 мм	0,05	0,10	0,60	0,80	0,85	0,80
Плиты минераловатные ПА/С, прикрепленные вплотную к ограждению	0,05	0,10	0,60	0,80	0,85	0,80

Исходные данные и результаты расчета представлены в табл. 4.10

Таблица 4.10 Результаты расчета

Величина	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
$a_1$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
D	6	10	14	15	14	13
$a_2$	0,04	0,1	0,50	0,63	0,75	0,60

Для принятия решения о типе облицовки по табл. 4.9 подбираем по величине  $a_2$  конструкцию. Ею является плита минераловатная типа ПА/С, укрепленная вплотную к ограждению. Все коэффициенты звукопоглощения выбранной конструкции превышают необходимые октавные значения, поэтому проверку решения не производим. Допускается несовпадение результатов (превышение) в пределах точности измерений ( $\pm 2$  дБ).

**Задача 4.7.** При работе компрессора из всасывающей трубы диаметром 150 мм излучается шум, уровень которого равен 110 дБ на расстоянии 1 м от

фильтра. Спектр излучаемого шума в октавных полосах частот приведен в табл. 4.11. Предприятие расположено в промышленном районе и работает круглосуточно. На расстоянии 102 м от компрессорной находятся жилые здания. Требуется рассчитать уровень шума на расстоянии 2 м перед окнами зданий при работе компрессора без глушителя, определить превышение шума над нормами и подобрать такой глушитель, чтобы шум не превышал нормы.

**Решение.** Снижение уровня шума  $\beta_2$ , дБА, в открытом пространстве на расстоянии  $r_2$  от источника определяем по формуле (4.10), зная уровень шума  $\beta_1$  на расстоянии 1 м от источника и величину дополнительного затухания  $\Delta$

$$\beta_2 = \beta_1 - 20 \lg r_2 - \Delta - 8 \quad (4.10)$$

Дополнительное затухание шума происходит за счет поглощения звуковых колебаний в воздушной среде и может быть рассчитано по формуле

$$\Delta = 6 \cdot 10^{-6} f r_2, \quad (4.11)$$

где  $f$  – частота звуковых колебаний, Гц (среднегеометрические частоты).

Величины затухания для среднегеометрических частот октавных полос показаны ниже.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Затухание шума, дБ/км	0	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Учитывая, что компрессор работает круглые сутки, нормы превышения шума на расстоянии 2 м перед окнами зданий принимаем для ночного времени [1, табл. 2, п. 7] с учетом поправки на промышленный район (+5 дБ).

Расчет превышения шума над нормами сведен в табл. 4.11. превышения шума над нормами

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровень звукового давления, дБ							
Шум на расстоянии 1 м от всасывающего фильтра компрессора	90	95	97	108	90	85	75	70
Шум на расстоянии 100 м от фильтра на 2 м перед окнами зданий	42	47	49	60	42	37	27	22
Норма шума на расстоянии 2 м перед окнами зданий в ночное время с учетом поправки	68	57	50	44	40	37	35	33
Превышение шума над нормами	–	–	–	16	2	–	–	–

Как видно из табл. 4.11, шум превышает нормы в двух октавах со среднегеометрическими частотами 500 и 1000 Гц. Максимальное превышение отмечается на частоте 500 Гц. Рассчитаем активный глушитель для этой частоты.

Принимаем внутреннюю трубу глушителя по диаметру всасывающей трубы, составляющему 150 мм (0,15 м). Тогда периметр  $\Pi$  будет равен длине окружности

$$\Pi = \pi d = 3,14 \cdot 0,15 = 0,47 \text{ м.}$$

Площадь сечения глушителя определится как

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} = 0,018 \text{ м}^2.$$

Для облицовки глушителя выбираем минеральную шерсть при толщине слоя 50 мм. Коэффициенты звукопоглощения минеральной шерсти, покрытой перфорированной сталью, приведены в [1, табл. 22].

Необходимую длину глушителя рассчитываем по формуле

$$l_{500\text{Гц}} = \frac{\Delta\beta}{1,3 \alpha \frac{\Pi}{S}} = \frac{16}{1,3 \cdot 0,94 \frac{0,47}{0,018}} = 0,53 \text{ м.}$$

**Задача 4.8.** В цехе испытания топливных насосов стенд для испытания изолирован от общего помещения цеха перегородкой, выполненной из кирпича весом  $280 \text{ кг/м}^2$  (1/2 кирпича); пункт обдувки и очистки агрегатов топливных насосов сжатым воздухом изолирован перегородкой из стекла толщиной 6 мм и фанеры толщиной 5 мм. Вес перегородки из стекла –  $15 \text{ кг/м}^2$ , фанеры –  $7 \text{ кг/м}^2$ . Требуется определить частотную характеристику звукоизоляции ограждений.

**Решение.** Из табл. 4.12 находим координаты точек Б и В для кирпича, стекла и фанеры. Координаты точек  $f_B$  и  $f_V$  определяется расчетом.

Таблица 4.12 Расчетные величины для построения частотной

характеристики звукоизоляции однослойного ограждения от воздушного шума (для веса не более  $300 \text{ кг/м}^2$ )

Материал ограждения	$R_B = R_V$ , дБ	$f_B$ , Гц	$f_V$ , Гц
Сталь	40	<u>24000</u> G	<u>26000</u> G
Алюминий	29	<u>67000</u> G	<u>73000</u> G

Бетон, железобетон	38	$\frac{1900}{G}$	$\frac{65000}{G}$
Шлакобетон	29	$\frac{6700}{G}$	$\frac{43000}{G}$
Гипсобетон	37	$\frac{19000}{G}$	$\frac{85000}{G}$
Кирпич	37	$\frac{1700}{G}$	$\frac{77000}{G}$
Стекло	27	$\frac{5300}{G}$	$\frac{53000}{G}$
Фанера	19	$\frac{2100}{G}$	$\frac{13600}{G}$

Для перегородки из кирпича весом  $280 \text{ кг/м}^2$

$$R_B = R_V = 37 \text{ дБ};$$

$$f_B = 1700:280 \gg 61 \text{ Гц};$$

$$f_V = 77000:280 = 275 \text{ Гц}.$$

Для перегородки из стекла весом  $15 \text{ кг/м}^2$ :

$$R_B = R_V = 27 \text{ дБ};$$

$$f_B = 5300:15 \gg 353 \text{ Гц};$$

$$f_V = 53000:15 \gg 3530 \text{ Гц}.$$

Для перегородки из фанеры весом  $7 \text{ кг/м}^2$ :

$$R_B = R_V = 19 \text{ дБ};$$

$$f_B = 2100:7 = 300 \text{ Гц};$$

$$f_V = 13600:7 = 1800 \text{ Гц}.$$

Как видно из построения частотных характеристик (рис. 4.5), полученные величины звукоизоляции конструкций значительно отличаются друг от друга.

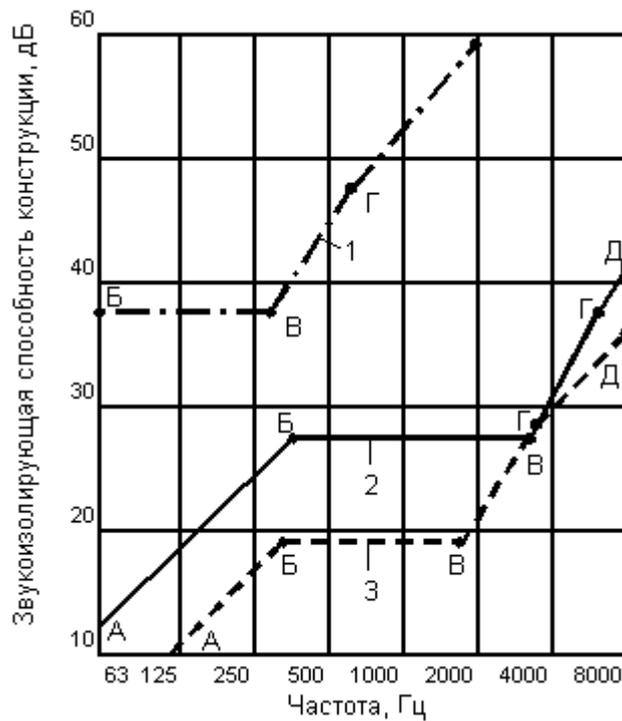


Рис. 4.5. Построение частотной характеристики звукоизолирующей способности однослойных ограждений из разных материалов: 1 – кирпич; 2 – стекло; 3 – фанера

Расчет превышения норм шума в изолируемом помещении по приведенной методике показан в табл. 4.13 (данные звукоизоляции перегородок принимаем по графику рис. 4.5).

Помещения для ремонта деталей топливной аппаратуры, не имеющие источников шума, можно отнести к помещениям пультов, кабин наблюдения и дистанционного управления, не требующим речевой связи. Нормы шума в этом случае будут регламентироваться [1, п. 4, табл 2] (при действии шума более 4 ч в смену; шум широкополосный, нетональный и неимпульсный).

Таблица 4.13 Расчет превышения норм шума в цехе испытания топливных насосов при изоляции пункта обдувки деталей сжатым воздухом

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления, дБ							

Шум в помещении обдувки агрегатов сжатым воздухом (по данным измерений)	85	89	93	98	96	95	86	82		
Норма шума в цехе при воздействии более 4 ч в смену (шум широкополосный не тональный)	83	74	68	63	60	57	55	54		
Превышение норм шума в цехе без устройства звукоизолирующей стенки			2	15	25	35	36	38	31	28
Звукоизолирующая способность стенки согласно рис. 4.5 (без учета звукопоглощения и обходных путей): а) стенка из стекла; б) стенка из фанеры			12 –	17 11	23 17	27 19	27 19	27 22	31 30	42 37
Превышение норм шума в цехе после устройства изолирующей стенки: а) из стекла (п. 1 – п. 2 – п. 4, а); б) из фанеры (п. 1 – п. 2 – п.4, б)			– 2	– 4	2 8	8 16	9 17	11 16	– 1	– –

Согласно табл. 4.13 максимальное превышение норм шума в цехе без изоляции источников шума стенкой достигает 38 дБ, или почти в 16 раз по громкости [1, рис. 2]. По расчетным данным установка перегородки из фанеры снизит максимальное превышение уровней шума до 17 дБ, а из стекла – до 9 дБ, т.е. по громкости шум будет превышать норму соответственно в 3,2 и 2 раза. Очевидно, что применение звукопоглощающих облицовок или более эффективных ограждающих конструкций позволит снизить шум в общем помещении цеха до нормы.

**Задача 4.9.** Рассчитать звукоизоляцию (от воздушного шума) межцеховой перегородки отдельной конструкции из гипсобетонных панелей с объемным весом  $g_1 = 1300 \text{ кг/м}^3$  и толщиной  $h_1 = 8 \text{ см}$ . Воздушный промежуток  $d = 6 \text{ см}$ . К более длинной стороне перегородки примыкают перекрытия из плоских железобетонных панелей с объемным весом  $g_2 = 2400 \text{ кг/м}^3$ , толщиной  $h_2 = 10 \text{ см}$ .

**Решение.** Повышение звукоизоляции достигается применением двойных отдельных ограждений. Расчет двойного ограждения, состоящего из двух одинаковых плоских панелей, связанных между собой примыкающими к ограждению конструкциями, независимо от того, имеется в промежутке между панелями упругая прокладка или нет, производится в следующем порядке.

Строим частотную характеристику звукоизоляции  $R$  одной панели (рис. 4.5).

В том же масштабе строим график дополнительной звукоизоляции  $R_{\text{доп}}$ . Для этого определяем частоту  $f_0$ , Гц,

$$f_0 = 0,42 \left( \frac{\gamma_1 d}{\gamma_2 h_2} \right)^2 \frac{c_1}{h_1}, \quad (4.12)$$

где  $f_0$  – частота, характеризующая отдельное ограждение, Гц;  $\gamma_1$  – объемный вес материала панелей отдельного ограждения,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\gamma_2$  – объемный вес материала боковых конструкций (перекрытий или стен), примыкающих к более длинной стороне отдельного ограждения,  $\text{кг/м}^3$ ;  $h_1$  – толщина одной панели отдельного ограждения, см;  $h_2$  – толщина примыкающей к отдельному ограждению боковой конструкции, см;  $d$  – толщина промежутка между панелями отдельного ограждения, см;  $c_1$  – скорость распространения продольной звуковой волны в материале панели отдельного ограждения, см/с (табл. 4.14).

Таблица 4.14 Скорость распространения продольных звуковых волн в различных материалах

Материал	$c_1$ , см/с	Материал	$c_1$ , см/с
Бетон, железобетон	$3,7 \cdot 10^5$	Кирпич	$2,3 \cdot 10^5$
		Сталь	$5,0 \cdot 10^5$
Шлакобетон	$4,0 \cdot 10^5$	Алюминий	$5,2 \cdot 10^5$
Гипсобетон	$5,0 \cdot 10^5$	Фанера	$1,4 \cdot 10^5$

Определяем вес  $1 \text{ м}^2$  одной панели отдельной стенки:

$$G = \gamma_1 h_1 = 1300 \cdot 0,08 = 104 \text{ кг/м}^2.$$

По табл. 4.12 находим значения координат точек Б и В:

$$f_B = \frac{19000}{104} = 183 \text{ Гц}; \quad f_B = \frac{85000}{104} = 817 \text{ Гц};$$

$$R_B = R_B = 37 \text{ дБ.}$$

Строим частотную характеристику звукоизолирующей способности одной панели (рис. 4.6).

Для построения частотной характеристики дополнительной звукоизоляции  $D R$  по табл. 4.14 и формуле (4.12) определяем

$$f_0 = 0,42 \left( \frac{1300 \cdot 6}{2400 \cdot 10} \right) \cdot \frac{5 \cdot 10^5}{8} = 2780 \text{ Гц.}$$

Из выражений

$$\Delta R_B = 13 - 20 \lg \left( 1 + \frac{h_1}{d} \right); \quad f = 0,125 f_0;$$

$$\Delta R_c = 13 \text{ дБ}; \quad f = f_0,$$

находим координаты точек  $B$  и  $C$ :

$$f_B = 0,125 \cdot 2780 = 348 \text{ Гц}; \quad f_c = f_0 = 2780 \text{ Гц};$$

$$\Delta R_B = 13 - 20 \lg \left( 1 + \frac{8}{6} \right) = 5,7 \text{ дБ}; \quad \Delta R_c = 13 \text{ дБ.}$$

На том же графике (рис. 4.6) наносим точки  $b$  и  $c$ , соединяем их прямой  $bc$ . Строим участки  $ab$  и  $cd$ . Для этого из точки  $b$  влево проводим горизонтальную прямую  $ba$ , из точки  $c$  вправо – горизонтальную прямую  $cd$ . Частотная характеристика суммарной звукоизоляции перегородки отдельной конструкции ( $R_{\Sigma} = R + D R$ ) представлена ломаной линией  $A', B' V', V' \Gamma'$ .

Как видно из примера, отдельные конструкции не увеличивают звукоизоляцию вдвое по сравнению с одинарной конструкцией, а лишь повышают ее. По субъективной оценке шума это повышение на частотах до 500 Гц составляет примерно 1,8 раза, а на более высоких частотах – 2...2,5 раза.

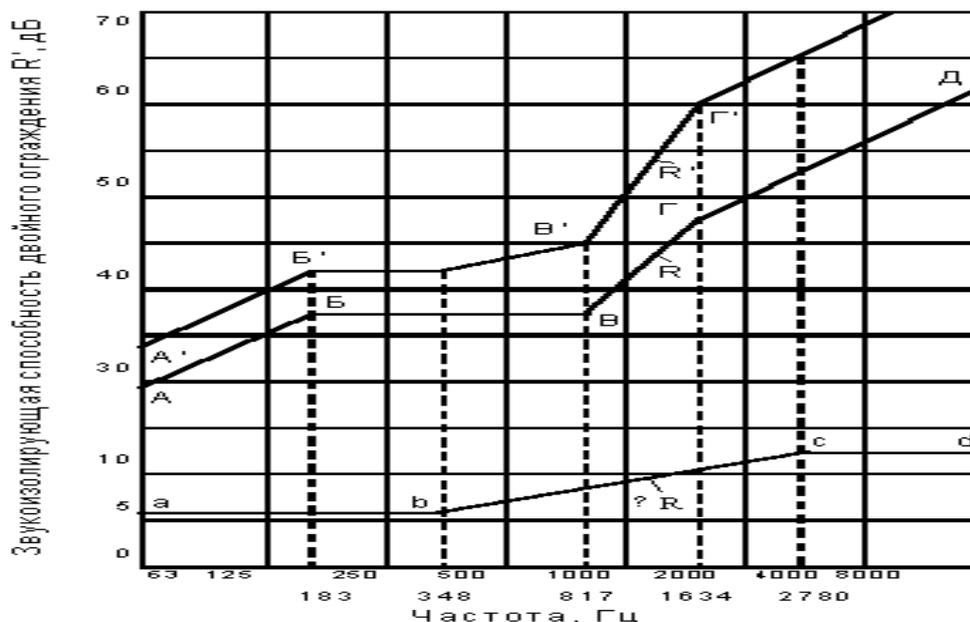


Рис. 4.6. Построение частотной характеристики звукоизолирующей способности раздельной гипсобетонной стены:

$R$  – звукоизолирующая способность одной панели;  $DR$  – дополнительная звукоизолирующая способность при установке второй панели с воздушным промежутком;  $R'$  – общая звукоизолирующая способность раздельной стены

**Задача 4.10.** Определить общий уровень и октавные уровни звуковой мощности вентилятора Ц4-70 №6 со стороны всасывания  $b_{\text{общ.вс}}$  и нагнетания  $b_{\text{общ.нагн}}$ , если полное давление, создаваемое вентилятором, равно  $48 \text{ кг/м}^2$ , производительность вентилятора –  $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , число оборотов –  $950 \text{ об./мин}$ . Вентилятор работает в режиме максимального КПД  $d = 0$ .

**Решение.** Общий уровень звуковой мощности шума вентиляторов  $b_{\text{общ}}$ , дБ, определяется по формуле

$$\beta_{\text{ОБЩ}} = \beta + 25 \lg H + 10 \lg Q + \delta, \quad (4.13)$$

где  $\beta$  – критерий шумности, зависящий от типа и конструкции вентилятора, дБ (табл. 4.15);  $H$  – полное давление, создаваемое вентилятором,  $\text{кг/м}^2$ ;  $Q$  – производительность вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $d$  – поправка на режим работы вентилятора.

По формуле (4.13) и табл. 4.15 определяем:

$$\beta_{\text{ОБЩ.вс}} = 38 + 25 \lg 48 + 10 \lg \frac{6000}{3600} + 0 = 81 \text{ дБ};$$

$$\beta_{\text{ОБЩ.НАГН}} = 41 + 25 \lg 48 + 10 \lg \frac{6000}{3600} + 0 = 84 \text{ дБ.}$$

Таблица 4.15 Значение критерия шумности  $\beta$  для вентиляторов

Сторона	Вентиляторы					
	Ц4-70, Ц4-76	ВРС, Ц13-50	Ц9-55, Ц9-57	ВВД	МЦ-4	К
Нагнетание	41	44,5	47,5	48	46	43
Всасывание	38	40,0	43,5	40	46	43

Октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого открытым входным либо выходным патрубком вентилятора в свободную атмосферу или в помещение, –  $\beta_{\text{окт}}$  определяем по формуле

$$\beta'_{\text{окт}} = \beta_{\text{общ}} - \Delta\beta_1, \quad (4,14)$$

где  $\beta_{\text{общ}}$  – общий уровень звуковой мощности вентилятора, дБ;  $\Delta\beta_1$  – поправка, учитывающая распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам частот, дБ (принимается в зависимости от типа вентилятора и числа оборотов по табл. 4.16).

Результаты расчета сведены в табл. 4.17.

Таблица 4.16 Поправки  $\Delta\beta_1$ , учитывающие распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам частот, дБ

Тип вентилятора	Число оборотов в минуту	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Осевой	350–690	8	9	5	7	10	16	23	30
	700–1400	13	8	9	5	7	10	16	23
	1410–2800	18	13	8	9	5	7	10	16
	Более 2800	18	18	13	8	9	5	7	10
Центробежный с лопатками, загнутыми вперед	350–690	6	6	9	13	17	21	26	31
	700–1400	6	6	6	9	13	17	21	26
	1410–2800	6	6	6	6	9	13	17	21
	Более 2800	6	6	6	6	6	9	13	17
Центробежный с лопатками, загнутыми назад	350–690	7	5	6	9	16	21	26	31
	700–1400	11	7	5	6	9	16	21	26
	1410–2800	15	11	7	5	6	9	16	21
	Более 2800	15	15	11	7	5	6	9	16

Таблица 4.17 Расчет октавных уровней звуковой мощности шума вентилятора, излучаемого в свободную атмосферу или в помещение

№	Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Поправки $D b_1$ (вентилятор Ц4-70, $n=950$ об/мин, лопатки загнуты вперед, дБ)	6	6	6	9	13	17	21	26
2	Октавные уровни звуковой мощности $b'_{окт}$ на всасывание ( $b_{общ.вс.} - п.1$ ), дБ; на нагнетание ( $b_{общ.нагн.} - п.1$ ), дБ	75 78 7 8	75 78	75 78	72 75	68 71	64 67	60 63	55 58

Октавные уровни звуковой мощности шума вентилятора, дБ, излучаемого в вентиляционную сеть  $b''_{окт}$ , определяются по формуле

$$b''_{общ} = b_{общ} - \Delta\beta_1 - \Delta\beta_2, \quad (4.15)$$

где  $D b_2$  – поправка, учитывающая влияние присоединения вентилятора к сети воздуховода, дБ (принимается по табл. 4.18).

Таблица 4.18 Поправка  $D b_2$ , учитывающая влияние способа присоединения вентилятора или дросселирующего устройства к сети воздуховодов, дБ

Корень квадратный из площади поперечного сечения патрубка вентилятора или воздуховода, мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	23,5	18,0	13,0	7,5	3,0	0,5	0	0
140	21,0	15,0	10,5	5,5	1,5	0	0	0
200	18,0	13,0	7,5	3,0	1,0	0	0	0
250	16,0	11,0	6,0	2,0	0,5	0	0	0
315	14,5	9,5	4,5	1,0	0	0	0	0
400	12,5	7,5	3,0	0,5	0	0	0	0
500	11,0	6,0	2,0	0,5	0	0	0	0
630	9,5	5,0	1,0	0	0	0	0	0
800	7,5	3,0	1,0	0	0	0	0	0

900	7,0	3,0	0,5	0	0	0	0	0
1000	6,0	2,0	0,5	0	0	0	0	0

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана труда в грузовом хозяйстве железных дорог (с примерами решения задач) / В.И. Бекасов, Н.Е. Лысенко, В.А. Муратов и др. – М.: Транспорт, 1984.
2. Бобин, Е.В. Борьба с шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте – 3-е изд., перераб. и доп. / Е.В. Бобин. – М.: Транспорт, 1973.
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М., 1996.
4. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. Введ. 01.07.84. – М.: Издательство стандартов, 1985.
5. СНиП II-12-77. Защита от шума. Введ. 01.07.88. – М.: Стройиздат, 1977.
6. Борьба с шумом на производстве / Под ред. В.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985.

## 5.ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Отопление предназначено для обеспечения нормируемых температурных условий в рабочих зонах производственных помещений.

Системой отопления называют комплекс конструктивных элементов, предназначенных для получения, переноса и передачи необходимого количества теплоты во все обогреваемые помещения. В систему отопления входят отопительные (нагревательные) приборы, магистральные трубопроводы для подачи и отвода теплоносителя, стояки, соединительные трубы, регулирующая арматура, воздухооборники, котел или теплообменные и циркуляционные насосы.

Санитарно-гигиенические требования к отопительным системам направлены на поддержание в холодный период года нормируемой температуры воздуха в помещениях; ограничение температуры поверхности нагревательных приборов и обеспечение бесшумности их работы [1].

Системы отопления подразделяются на местные и центральные. В зависимости от используемого теплоносителя различают паровое, водяное, воздушное и электрическое отопление. Водяное отопление получило наибольшее распространение как наиболее гигиеническое, бесшумное, экономичное и совершенное в эксплуатации. В системах воздушного отопления в качестве теплоносителя используется воздух, нагретый до температуры более высокой, чем температура воздуха в помещении. Элементами воздушной системы отопления являются калорифер – источник тепла; вентилятор и воздухораспределительные устройства. Для воздушного отопления характерны меньшие стоимость и металлоемкость по сравнению с водяным и паровым отоплением, быстрый нагрев помещений, а также возможность совмещения с

вентиляцией. Перечень систем отопления, допустимых к применению в различных зданиях, приведен в СНиП 2.04.05-86 [2].

Вентиляцией называется комплекс взаимосвязанных устройств, предназначенных для создания организованного воздухообмена, что позволяет обеспечить в рабочей зоне производственных помещений благоприятные условия воздушной среды, отвечающие требованиям ГОСТ12.1.005-88, СН 245-71 и технологических норм и регламентов.

Вентиляция обеспечивает воздухообмен в помещении, т.е. удаляет загрязненный и подает чистый воздух. По способу перемещения воздуха различают естественную (аэрацию) и искусственную (механическую) вентиляцию. Вентиляция называется естественной, если воздухообмен в помещении осуществляется за счет теплового или ветрового напоров.

При искусственной вентиляции воздухообмен осуществляется вентиляторами. Кроме того, вентиляция бывает приточной, вытяжной и приточно-вытяжной. Приточная предназначена для организованной подачи чистого воздуха в помещение, а вытяжная – для удаления из него загрязненного (отработанного) воздуха. По месту действия вентиляцию подразделяют на общеобменную, местную (локальную) и комбинированную.

Местная приточная вентиляция служит для подачи воздуха в рабочую зону помещений (воздушное душирование, воздушные и воздушно-тепловые завесы). Местная вытяжная вентиляция (местные отсосы) не дает вредным примесям распространяться по всему помещению и удаляет их непосредственно от мест выделения.

Аварийная вентиляция устраивается в производственных помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздух больших количеств вредных (токсичных) или взрывоопасных веществ. Выбор той или иной системы вентиляции определяется условиями обеспечения нормируемых параметров воздушной среды в помещениях [2].

### Примеры решения задач

**Задача 5.1.** Определить затраты тепла  $S Q$  на отопление проектируемого здания локомотивного депо по его удельной тепловой характеристике, составляющей  $0,7 \text{ Вт/м}^3 \text{ К}$ . Объем отапливаемого здания равен  $4000 \text{ м}^3$ . Температура воздуха в помещении составляет  $18 \text{ }^\circ\text{С}$ . Температура наружного воздуха  $t_n = -15 \text{ }^\circ\text{С}$ .

**Решение.** Расчет затрат тепла на отопление здания производим по формуле

$$\sum Q = \alpha q_v V_n (t_v - t_n), (5.1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент учета района строительства здания, принимается по [3, табл. 11.7],  $\alpha = 1,08$ ;  $q_v$  – удельная тепловая характеристика здания, при отсутствии значения принимается по [3, прил. 6];  $V_n$  – объем здания или

отапливаемой его части,  $\text{м}^3$ ;  $t_{\text{в}}$  – средняя нормируемая температура воздуха в отапливаемых помещениях,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$$\sum Q = 1,08 \cdot 0,7 \cdot 4000 [18 - (-25)] = 130 \text{ кВт.}$$

**Задача 5.2.** Для общественного здания определить величину удельной тепловой характеристики при следующих исходных данных:  $F = 500 \text{ м}^2$ ;  $S = 120 \text{ м}^2$ ;  $V_{\text{н}} = 1300 \text{ м}^3$ ;  $d = 0,3$ .

**Решение.** Расчет  $q_{\text{в}}$  производим по формуле (5.2), учитывающей степень остекления,

$$q_{\text{в}} = \frac{(1 + 2d) F + S}{V_{\text{н}}}, \quad (5.2)$$

где  $d$  – степень остекления наружных стен здания в долях единицы;  $F$  – площадь наружных стен,  $\text{м}^2$ ;  $S$  – площадь здания в плане,  $\text{м}^2$ ;  $V_{\text{н}}$  – объем здания,  $\text{м}^3$ ,

$$q_{\text{в}} = \frac{(1 + 2 \cdot 0,3) \cdot 500 + 120}{1300} = 0,7 \text{ Вт/м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}.$$

Полученное значение  $q_{\text{в}}$  не отличается от приведенного в [3, прил. 6], т.е. здание считается отвечающим теплотехническим требованиям.

**Задача 5.3.** Определить тепловую мощность отопительной системы пассажирского купейного вагона с 36 пассажирами, если площадь ограждений составляет  $F = 220 \text{ м}^2$ . Приведенный коэффициент теплопередачи через ограждения вагона  $k = 2,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ . Температура воздуха в вагоне  $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Принять количество теплоты, выделяемой одним пассажиром,  $q_{\text{пас}} = 100 \text{ Вт/чел.}$

**Решение.** Тепловую мощность отопительной установки вагона  $Q_{\text{от}}$  для компенсации дефицита теплоты находим из уравнения теплового баланса:

$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{пот}} - Q_{\text{выд}}, \quad (5.3)$$

где  $Q_{\text{пот}}$  и  $Q_{\text{выд}}$  – соответственно теплотери и тепловыделения, Вт.

Теплотери через ограждающие конструкции вагона определяем по формуле

$$Q_{\text{пот}} = kF (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (5.4)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи ограждений,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ ;  $F$  – площадь ограждений,  $\text{м}^2$ ;  $(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$  – разность температур воздуха,  $\text{К}$ .

Расчет теплоты, выделяемой пассажирами в вагоне, производим по формуле

$$Q_{\text{выд}} = N q_{\text{пас}}, \quad (5.5)$$

где  $N$  – количество пассажиров в вагоне.

Тогда

$$Q_{\text{от}} = 2,5 \cdot 220 [20 - (-30)] - 36 \cdot 100 = 23,9_{\text{кВт}}.$$

**Задача 5.4.** Пассажирский купейный вагон имеет площадь ограждения  $F = 200 \text{ м}^2$ . Приведенный коэффициент теплопередачи составляет  $2,5 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ . Температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -40 \text{ }^\circ\text{С}$ ; температура воздуха в вагоне  $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{С}$ . Коэффициент теплопередачи нагревательных приборов  $k_{\text{н}} = 10 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ , при этом температура воды на входе в приборы  $t_2 = 90 \text{ }^\circ\text{С}$ , а на выходе  $t_1 = 70 \text{ }^\circ\text{С}$ . Определить площадь теплообменной поверхности отопительной системы вагона.

**Решение.** Необходимая поверхность нагревательных приборов определяется по аналогии с предыдущей задачей из уравнения теплового баланса теплотерь и теплопоступлений:

$$kF (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = k_{\text{н}}S (t_2 - t_1). \quad (5.6)$$

Откуда

$$S = \frac{k F (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{k_{\text{н}} (t_2 - t_1)}. \quad (5.7)$$

Подставляя исходные данные, получим:

$$S = \frac{2,5 \cdot 200 \cdot [20 - (-40)]}{10 \cdot (90 - 70)} = 150 \text{ м}^2.$$

**Задача 5.5.** Рассчитать калориферную установку в системе воздушного отопления производственного помещения для нагревания воздуха  $L = 28000 \text{ м}^3/\text{ч}$  с начальной температурой  $t_{\text{н}} = -18 \text{ }^\circ\text{С}$  до конечной  $t_{\text{к}} = 20 \text{ }^\circ\text{С}$ . Теплоноситель: вода с параметрами  $t_{\text{г}} = 130 \text{ }^\circ\text{С}$  и  $t_{\text{о}} = 70 \text{ }^\circ\text{С}$ .

**Решение.** Определяем плотность (объемная масса) воздуха при  $t_k = +20^\circ\text{C}$ :

$$\rho_{20} = 1,205 \text{ кг/м}^3.$$

Расход тепла на нагревание воздуха, ккал/ч,

$$Q = L \rho \cdot 0,24 (t_k - t_n),$$

$$Q = 2800 \cdot 1,205 \cdot 0,24 [20 - (-18)] = 307700 \text{ ккал/ч.}$$

Задаемся массовой скоростью  $\omega \rho = 8 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ , при которой живое сечение,  $\text{м}^2$ , калориферной установки по воздуху

$$f = \frac{L \rho}{3600 \cdot \omega \rho},$$

$$f = \frac{2800 \cdot 1,205}{3600 \cdot 8} = 1,17 \text{ м}^2.$$

По [3, прил. 17] принимаем калориферы модели КФС-9 с установкой их параллельно по воздуху

$$f = 2 \cdot 0,486 = 0,972 \text{ м}^2.$$

Определяем фактическую массовую скорость,  $\text{кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ , при параллельной установке калориферов:

$$\omega \rho = \frac{L \rho}{3600 f},$$

$$\omega \rho = \frac{28000 \cdot 1,205}{3600 \cdot 2 \cdot 0,486} = 9,6 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}.$$

Скорость теплоносителя в трубках калориферов,  $\text{м/с}$ , при последовательном присоединении трубопровода

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{Q}{3600 \rho f_{\text{тр}} (t_{\text{г}} - t_{\text{о}})},$$

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{307700}{3600 \cdot 960 \cdot 0,0107 (130 - 70)} = 0,137 \text{ м/с.}$$

По [3, прил. 19] для  $\omega \rho = 9,6 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ ,  $\omega_{\text{тр}} = 0,137 \text{ м/с}$ , коэффициент теплопередачи калорифера  $k = 20,8 \text{ ккал/(ч} \cdot \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ .

Определим требуемую поверхность нагрева,  $\text{м}^2$ , калориферной установки

$$F_k = \frac{Q}{k(t_{\text{ср}}^* - t_{\text{ср}})},$$

где  $t_{\text{ср}}^*$  – средняя температура теплоносителя;  $t_{\text{ср}}$  – средняя температура воздуха,

$$F_k = \frac{307700}{20,8 \left( \frac{130 - 70}{2} - \frac{-18 + 20}{2} \right)} = 150 \text{ м}^2.$$

Находим количество подлежащих установке калориферов при поверхности нагрева одного калорифера КФС-9  $F_k = 41,6 \text{ м}^2$ :

$$n = \frac{150}{416} = 3,6 \approx 4 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке четыре калорифера, запас поверхности нагрева 11 %, что вполне допустимо.

**Задача 5.7.** В моечном отделении депо испаряются водяные пары в количестве 10 кг/ч. Температура наружного воздуха – 12 °С, внутреннего – 18 °С, относительная влажность – 80 %. Требуется определить необходимый воздухообмен для помещения.

**Решение.** По  $I - d$  диаграмме влажного воздуха [4] находим влагосодержание в наружном воздухе и внутри помещения:  $d_n = 7$  г/кг и  $d_{вн} = 10,3$  г/кг.

Из полученных данных определяем необходимый воздухообмен по формуле

$$L = \frac{G}{d_{вн} - d_n},$$

$$L = \frac{10 \cdot 1000}{10,3 - 7,0} = 3030 \text{ кг/ч.}$$

**Задача 5.8.** В цехе выделяется хлор. При нормальной работе оборудования кратность воздухообмена  $K_{рн} = 14 \text{ ч}^{-1}$ . В случае нарушения технологического режима выделение хлора увеличивается в 10 раз, т.е.  $m = 10$ . Определить через какое время после устранения аварии концентрация хлора снизится до ПДК, если кратность воздухообмена аварийной вентиляции равна  $6 \text{ ч}^{-1}$ .

**Решение.** Определяем общую кратность воздухообмена во время аварии:

$$K_{р_а} = 14 + 6 = 20 \text{ ч}^{-1}.$$

Находим отношение:

$$n = \frac{K_{р_а}}{K_{рн}},$$

$$n = \frac{20}{14} = 1,43.$$

Определяем время, за которое концентрация хлора снижается до ПДК по формуле [4]

$$\tau = \frac{\lg \frac{m-1}{n-1}}{0,434 K_{p_a}} \quad (5.8)$$

где  $m$  – отношение количества вредных газов (паров), выделяющихся при аварии к их количеству при нормальном процессе;  $n$  – отношение кратности аварийной вентиляции к кратности при нормальной работе:

$$\tau = \frac{\lg \frac{10-1}{1,43-1}}{0,434 \cdot 20} = 0,152 \quad \text{ч} = 9,1 \text{ мин.}$$

Следовательно, за 9,1 мин после аварии концентрация хлора будет снижена до ПДК при работе вентиляции.

**Задача 5.9.** По психрометру Ассмана  $t_c = 17^\circ\text{C}$ ,  $t_m = 12^\circ\text{C}$ ,  $p_b = 101325 \text{ Па}$ ,  $V = 0,2 \text{ м/с}$ . Определить относительную влажность воздуха.

**Решение.** По таблице физических свойств воздуха находим парциальные давления насыщенных паров: при  $t_m = 12^\circ\text{C}$ ,  $p_{\text{нас}} = 1400 \text{ Па}$ , при  $t_c = 17^\circ\text{C}$ ,  $p_{\text{п.в.}} = 1920 \text{ Па}$  [4]. Определяем парциальное давление, Па, паров воды в воздухе:

$$p_n = p_{\text{нас}} - A(t_c - t_m)p_b,$$

$$p_n = 1400 - 0,0011(17 - 12)101325 = 839 \text{ Па.}$$

Находим относительную влажность воздуха по [4, формула (1.6)]:

$$\varphi = \frac{p_n \cdot 100}{p_{\text{п.в.}}},$$

$$\varphi = \frac{839 \cdot 100}{1920} = 43,16 \%$$

На основании аналогичных расчетов составлены психрометрические таблицы для определения относительной влажности воздуха по показаниям температур сухого и мокрого термометра.

**Задача 5.10.** В помещении для кратковременного пребывания людей собралось 50 человек. Объем помещения  $V = 1000 \text{ м}^3$ . Определить, через какое время  $t$  после начала собрания нужно включить в работу приточно-вытяжную

вентиляцию при следующих данных: количество  $\text{CO}_2$ , выделяемое одним человеком, 23 л/ч; допустимое содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе помещения  $x_2 = 2$  л/м<sup>3</sup>; концентрация  $\text{CO}_2$  в наружном (приточном) воздухе  $x_1 = 0,6$  л/м<sup>3</sup>.

**Решение.** Определяем общее количество  $\text{CO}_2$ , выделяющегося в помещении от людей:

$$G = 50 \cdot 23 = 1150 \text{ л/ч.}$$

Находим по [4, формула (II.7)]  $t = V (x_2 - x_1)/G$  время включения в работу вентиляционной системы:

$$\tau = \frac{1000(2 - 0,6)}{1150} = 1,21 \text{ ч.}$$

Следовательно, вентиляцию можно включить в работу через 1,21 ч (73 мин) после начала производственного собрания.

**Задача 5.11.** В помещении испытаний топливной аппаратуры депо требуется переместить 3000 м<sup>3</sup>/ч воздуха при полном расчетном давлении 35 кг/м<sup>2</sup>. Подобрать тип вентилятора и определить мощность электродвигателя.

**Решение.** По исходным данным характеристики вентиляторов Ц4-70 в соответствии с [4] находим, что требуемые параметры могут быть обеспечены вентилятором № 5. На его характеристике находим пересечение вертикальной прямой, соответствующей производительности 3000 м<sup>3</sup>/ч, и горизонтальной прямой, соответствующей давлению 35 кг/м<sup>2</sup>. Точка пересечения соответствует кпд вентилятора  $h_v = 0,69$ .

Мощность электродвигателя определяется по формуле

$$N = \frac{LP}{3600 \cdot 102 \eta_v \eta_n},$$

где  $L$  – производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/ч;  $P$  – давление, создаваемое вентилятором, кг/м<sup>2</sup>;  $h_v$  – кпд вентилятора;  $h_n$  – кпд передачи (при размещении вентилятора на одном валу с двигателем  $h_n = 1$ ).

Подставляя исходные данные, получим:

$$N = \frac{3000 \cdot 35}{3600 \cdot 102 \cdot 0,69 \cdot 1} = 0,49 \text{ кВт.}$$

**Задача 5.12.** Воздухообмен, обеспечивающий удаление избытков теплоты в цехе локомотивного депо, составляет 185000 кг/ч. Определить

площади приточных и вытяжных фрамуг, если расстояние между центрами фрамуг  $H = 8$  м,  $t_b = 23,3$  °С,  $t_{yx} = 31,3$  °С,  $t_n = 20,3$  °С. Соотношение площадей приточных  $F_1$  и вытяжных  $F_2$  фрамуг составляет 1,25.

**Решение.** По [4, формула (IX.19)] определяем расстояние от нейтральной зоны до центра вытяжных фрамуг, для чего предварительно по известным температурам находим  $\rho_b = \rho_{yx} = 1,16$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_n = 1,204$  кг/м<sup>3</sup>

$$h_2 = \frac{H}{\left[ \left( \frac{F_2}{F_1} \right)^2 \frac{\rho_b}{\rho_n} + 1 \right]},$$

$$h_2 = \frac{8}{\left[ \left( \frac{1}{1,25} \right)^2 \frac{1,16}{1,204} + 1 \right]} = 4,9 \text{ м.}$$

Находим  $t_{cp}$ :

$$t_{cp} = \frac{23,3 + 31,3}{2} = 27,3 \text{ °С и } \rho_{cp} = 1,176 \text{ кг/м}^3.$$

Вычисляем расстояние от нейтральной зоны до центра приточных отверстий

$$h_1 = 8 - 4,9 = 3,1 \text{ м.}$$

По [4, формулы (IX.16) и (IX.17)] определяем величины площадей фрамуг:

$$F_1 = \frac{185000}{3600 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,1(1,204 - 1,176) / 1,204}} = 17,5 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{185000}{3600 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,9(1,204 - 1,176) / 1,176}} = 14,1 \text{ м}^2.$$

**Задача 5.13.** Рассчитать воздушную завесу у ворот локомотивного депо, выполненную по схеме с забором внутреннего воздуха и подачей его в завесу без подогрева. Размеры ворот: ширина  $B = 3,5$  м, высота  $H = 2,5$  м. Расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно составляют  $t_n = -20$  °С;  $t_b = -10$  °С;

**Решение.** По [4, формула (XII.7)] находим максимальную скорость, м/с, у пола, принимая высоту расположения нейтральной зоны  $Z = 4$  м:

$$V_{\max} = 0,26\sqrt{\Delta t Z},$$

$$V_{\max} = 0,26\sqrt{[10 - (-20)] 4} = 2,84 \text{ м/с.}$$

Вычисляем расход наружного воздуха, м<sup>3</sup>/ч, при бездействии завесы:

$$L_B = 3600 V_{\max} BH,$$

$$L_B = 3600 \cdot 2,84 \cdot 3,5 \cdot 2,5 = 79000 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Задаемся геометрическими размерами завесы: шириной щели  $b = 0,1$  м; углом наклона струи к плоскости ворот  $\alpha = 30^\circ$  (при этом коэффициент  $a = 0,2$ ).

По [4, график (XII.5)] при  $a = 0,2$ ,  $\alpha = 30^\circ$  и подаче воздуха через щель снизу  $j = 0,41$ .

Определяем характеристику завесы:

$$R = \varphi \sqrt{\frac{H}{b}} + 1,$$

$$R = 0,41 \sqrt{\frac{2,5}{0,1}} + 1 = 3,05.$$

Задавшись КПД завесы  $\eta = 0,6$ ; находим расход воздуха на завесу, м<sup>3</sup>/ч,

$$L_0 = \left( \frac{\eta}{R} \right) L_B,$$

$$L_0 = \frac{0,6}{3,05} \cdot 79000 = 15500 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Определяем начальную скорость струи:

$$V_0 = \frac{L_0}{3600 B b},$$

$$V_0 = \frac{15500}{3600 \cdot 3,5 \cdot 0,1} = 122 \text{ м/с.}$$

Находим количество воздуха, входящего в помещение, м<sup>3</sup>/ч,

$$L_H = (1 - \eta)L_B,$$

$$L_H = (1 - 0,6)79000 = 31600 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определяем температуру смеси, если воздух завесы не подогревается:

$$t_{\text{см}} = \frac{(L_0 t_0 + L_H t_H)}{L_0 + L_H},$$

$$t_{\text{см}} = \frac{[15500 \cdot 10 + 31600(-20)]}{15500 + 31600} = -6,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Повысим температуру завесы до  $t_{\text{см}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  путем подогрева воздуха и определим начальную температуру воздуха:

$$t_0 = \frac{[t_{\text{см}} + (t_{\text{см}} - t_H)L_H]}{L_0},$$

$$t_0 = \frac{[0 + (0 - (-20))31600]}{15500} = 40,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расход теплоты на подогрев воздуха калориферами составит

$$Q = 0,31 \cdot 15500(40,6 - 10) = 146000 \text{ ккал/ч}.$$

Определим расход воздуха при  $t_{\text{см}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ :

$$L_0 = \frac{79000}{\left(3,05 + \frac{10 - 0}{0 - (-20)}\right)} = 22200 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Найдем КПД завесы при новых условиях:

$$\eta = \frac{22200 \cdot 3,05}{79000} = 0,81.$$

**Задача 5.14.** Рассчитать воздушно-тепловую завесу для административного здания локомотивного депо при заборе внутреннего воздуха на завесу. Исходные данные:  $t_H = -26 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $r_H = 1,43 \text{ кг/м}^3$ ;  $h_{\text{л.к}} = 9 \text{ м}$ ;  $t_B = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $r_B = 1,22 \text{ кг/м}^3$ ;  $h_{\text{ЭТ}} = 3 \text{ м}$ ;  $H_{\text{ДВ}} = 2,5 \text{ м}$ ;  $F_{\text{ВХ}} = 2 \text{ м}^2$ ; количество проходящих

людей  $n = 1000$  чел/ч;  $K = 0,38$ ;  $m_{\text{вх}} = 0,1$  для входных вращающихся дверей;  $t_y = 50^\circ \text{C}$ .

**Решение.** Определяем количество наружного воздуха, поступающего через вход в здание по формуле

$$G_{\text{вх}} = K 3600 F_{\text{вх}} \mu_{\text{вх}} \sqrt{9,8(h_{\text{к.л}} + 2h_{\text{эт}} - H_{\text{дв}})(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}})\rho_{\text{н}}},$$

$$G_{\text{вх}} = 0,38 \cdot 3600 \cdot 2 \cdot 0,1 \sqrt{9,8(9 + 2 \cdot 3 - 2,5)(1,43 - 1,22)1,43} = 1590 \text{ кг/ч.}$$

Находим расход воздуха на завесу, кг/ч,

$$G_3 = \frac{G_{\text{вх}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{t_3 - t_{\text{в}}},$$

$$G_3 = \frac{1590[16 - (-26)]}{50 - 16} = 1960 \text{ кг/ч.}$$

Определяем расход теплоты, Вт, на воздушно-тепловую завесу:

$$Q_3 = G_3 c (t_3 - t_{\text{в}}),$$

$$Q_3 = 1960 \cdot 0,28 (50 - 16) = 18600 \text{ Вт.}$$

**Задача 5.15.** Рассчитать очистку запыленного воздуха в рукавных фильтрах, если объем воздуха  $Q$  составляет  $35000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Подобрать марку рукавного фильтра, определить их необходимое число и воздушную нагрузку.

**Решение.** Задаемся удельной воздушной нагрузкой на ткань фильтра  $q = 50 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ .

Определяем необходимую величину фильтрующей поверхности,  $\text{м}^2$ ,

$$S_{\text{об}} = \frac{Q}{q},$$

$$S_{\text{об}} = \frac{35000}{50} = 700 \text{ м}^2.$$

По [5, табл. XI.6] принимаем к установке рукавный фильтр марки ФВК-90, рабочая фильтрующая поверхность которого составляет  $75 \text{ м}^2$ , и тогда потребное число фильтров составит

$$n = \frac{700}{75} = 9,3 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке 10 рукавных фильтров с общей фильтрующей поверхностью 900 м<sup>2</sup> и рабочей поверхностью

$$S = 75 \cdot 10 = 750 \text{ м}^2.$$

Фактическая воздушная нагрузка на ткань фильтра составит

$$q_{\Phi} = \frac{35000}{750} = 47 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч},$$

т.е. очень близка к заданной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности / Под ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 1999.
2. СНиП 2.04.05-86. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
3. Тихомиров, К.В. Теплотехника, отопление и вентиляция зданий / К.В. Тихомиров. – М.: Стройиздат, 1986.
4. Дроздов, В.Ф. Отопление и вентиляция. Ч.II. Вентиляция / В.Ф. Дроздов. – М.: Высш. шк., 1988.
5. Инженерные решения по охране труда в строительстве / Под ред. Г.Г. Орлова. – М.: Стройиздат, 1985.

## 6. БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Строительство является одной из самых травмоопасных отраслей производства. На строительной площадке имеются различные опасные и вредные производственные факторы: движущиеся машины и механизмы; подвижные и перемещаемые части производственного оборудования; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны и поверхностей оборудования; повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; повышенное значение напряжения электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; отсутствие или недостаток освещенности; расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола), физические перегрузки и другие факторы. Воздействие опасных факторов зачастую приводит к травмам

при нарушении технологических процессов, техники безопасности и дисциплины труда, при неудовлетворительной организации работ.

Анализ травматизма в строительстве показывает, что наибольшее количество несчастных случаев приходится на монтажные и земляные работы.

Земляные работы выполняются во всех видах строительства: жилищном, гражданском, гидротехническом, железнодорожном и др. Основными видами земляных работ являются: разработка котлованов, траншей, карьеров; планировка участков, возведение земляных сооружений. Основной причиной травматизма при выполнении перечисленных работ служит обрушение грунта из-за разработки его без креплений с превышением критической высоты стенок траншей и котлованов, неправильной конструкции их креплений, нарушения крутизны откосов; возникновения неучтенных дополнительных нагрузок от строительных материалов, конструкций, механизмов.

Важнейшим вопросом техники безопасности на строительной площадке является определение границ зон с постоянно или потенциально действующими опасными производственными факторами. При производстве строительно-монтажных работ в этих зонах следует осуществлять организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работающих. Травматизм при монтаже строительных конструкций вызывается обрушением (падением) монтируемых конструкций; падением рабочих с высоты; несовершенством и ошибками при выборе монтажной оснастки и другими факторами.

В данном разделе рассмотрены задачи, возникающие при выполнении различных видов земляных и монтажных работ.

### Примеры решения задач

**Задача 6.1.** Определить максимальную глубину разработки в суглинке, при которой будет обеспечена ее устойчивость, если требуемый угол откоса разработки равен  $70^{\circ}$ .

**Решение.** Приведенной методикой, основанной на теории устойчивости горных пород, можно воспользоваться, если разработка грунта (уступ, траншея, котлован) ведется в связных грунтах и требуемая глубина разработки не превышает 5 м:

$$K_{\max} = \frac{c}{\gamma K_{\text{уст}}}, \quad (6.1)$$

где  $K_{\max}$  – коэффициент сцепления;  $c$  – удельное сцепление грунта,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;  $\gamma$  – плотность грунта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c$  и  $\gamma$  принимаются по справочным данным, табл. 6.1;  $K_{\text{уст}}$  – коэффициент устойчивости, равный 1,5–3.

Таблица 6.1 Примерные значения плотности грунта  $\gamma$  ; удельного сцепления грунта  $c$ ; угла внутреннего трения  $\varphi$

Наименование грунтов	Характеристики грунтов		
	$\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	$c$ , кПа	$\varphi$ , град
Супесь	1750–2200	3–13	21–28
Суглинок	1650–2100	15–39	17–24
Глина	1750–2300	32–57	11–18
Песок	1300–1800	1–3	35–40

Для суглинка принимаем  $c = 15$  кПа = 1500 кг/м<sup>2</sup>;  $j = 17^\circ$ ;  $\gamma = 1650$  кг/м<sup>3</sup>;

$$k_{уст} = 1,5$$

$$k_{max} = \frac{1500}{1650 \cdot 1,5} = 0,606 \text{ м.}$$

$$\varphi' = \arctg \frac{\text{tg} \varphi}{k_{уст}}, (6.2)$$

где  $j$  – угол естественного откоса, град;  $j$  – угол внутреннего трения, град, принимается по справочным данным табл. 6.1,

$$\varphi' = \arctg \frac{\text{tg} 17^\circ}{1,5} = \arctg \frac{0,306}{1,5} = \arctg 0,204 = 11,5^\circ$$

Значение  $j$  без учета коэффициента устойчивости можно также определить по табл. 6.2.

Таблица 6.2 Значения угла естественного откоса  $\varphi$ , град, для различных грунтов

Вид грунта	Грунт		
	сухой	влажный	мокрый
Глина	45	35	15
Суглинок:	50	40	30
средний	40	30	20
легкий			
Песок:	25	30	20
мелкозернистый	28	35	25
среднезернистый	30	32	27
крупнозернистый			
Грунт:	40	35	25

растительный	35	45	27
насыпной			
Гравий	40	40	35
Галька	35	45	25

Критическую высоту уступа для связных грунтов, м, определим по формуле

$$H_{кр} = \frac{2\kappa_{\max} \sin \alpha \cos \varphi}{\sin \frac{\alpha - \varphi'}{2}}, \quad (6.3)$$

где  $\alpha$  – заданный угол откоса разработки, град,

$$H_{кр} = \frac{2 \cdot 0,606 \sin 70^\circ \cos 17^\circ}{\sin \frac{70 - 11,5}{2}} = \frac{1,212 \cdot 0,94 \cdot 0,956}{0,489} = 2,23 \text{ м.}$$

В реальных условиях при определении предельной глубины котлована  $H_{пред}$  вводится коэффициент запаса 1,2–2, обычно принимаемый равным 1,25:

$$H_{пред} = \frac{H_{кр}}{1,2 \dots 2}, \quad (6.4)$$

Таким образом,  $H_{пред} = \frac{2,23}{1,25} = 1,78$  м, т.е. максимальная глубина разработки в суглинке, обеспечивающая ее устойчивость при данном угле откоса разработки, будет равна 1,78 м.

**Задача 6.2.** Для предупреждения обрушения грунтовых масс при разработке котлована рассчитать допустимую крутизну откоса котлована. Исходные данные: глубина котлована – 10 м, вид грунта – суглинок.

**Решение.** Построим кривую равнопрочного откоса по приближенному методу проф. Н.Н. Маслова. Этот метод основывается на двух предпосылках: угол устойчивого откоса для любой горной породы есть угол ее сопротивления сдвигу; критическое напряжение в толще определяется равенством двух главных напряжений, равных весу столба грунта от горизонтальной поверхности до рассчитываемой точки [2].

Коэффициент сдвига  $F_p$  является тангенсом угла сдвига  $\varphi_{pz}$ :

$$F_p = \operatorname{tg} \varphi_{p_z} = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{p}, \quad (6.5)$$

где  $p$  – вертикальная равномерно распределенная нагрузка от веса грунта;

$$p = \gamma z; \quad (6.6)$$

$\gamma$  – удельный вес грунта,  $\text{кН/м}^3$ ;  $z$  – расстояние от уровня земли до различных отметок котлована, м;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта, град;  $c$  – удельное сцепление грунта,  $\text{кПа}$ .

Для построения кривой равнопрочного откоса задаются ординатой  $z$  и определяют угол наклона отрезка поверхности откоса к горизонту  $\alpha_z$ , равный углу сдвига  $\varphi_{p_z}$ . Расчет сводится в табл. 6.3

Таблица 6.3 Расчет кривой равнопрочного откоса

$z$ , м	$g$ , кН/м <sup>3</sup>	$p$ , кН/м <sup>2</sup>	$tg j$	$\sigma_{\text{ср}}$ , кПа	$\frac{c}{p}$	$F_P = tg \varphi_{Pz} = tg \varphi + \frac{c}{p}$	$a_z = \varphi_{Pz}$
1	20,0	20,0	0,42	38	1,9	2,32	67°
2	20,0	40,0	0,42	38	0,95	1,37	54°
3	20,0	60,0	0,42	38	0,63	1,05	46°
4	20,0	80,0	0,42	38	0,48	0,9	42°
5	20,0	100,0	0,42	38	0,38	0,8	39°
6	20,0	120,0	0,42	38	0,32	0,74	37°
7	20,0	140,0	0,42	38	0,27	0,69	35°
8	20,0	160,0	0,42	38	0,24	0,66	33°
9	20,0	180,0	0,42	38	0,21	0,63	32°
10	20,0	200,0	0,42	38	0,19	0,61	31°

На графике откладываем полученные значения  $a_z$ , начиная построение сверху вниз (рис. 6.1).

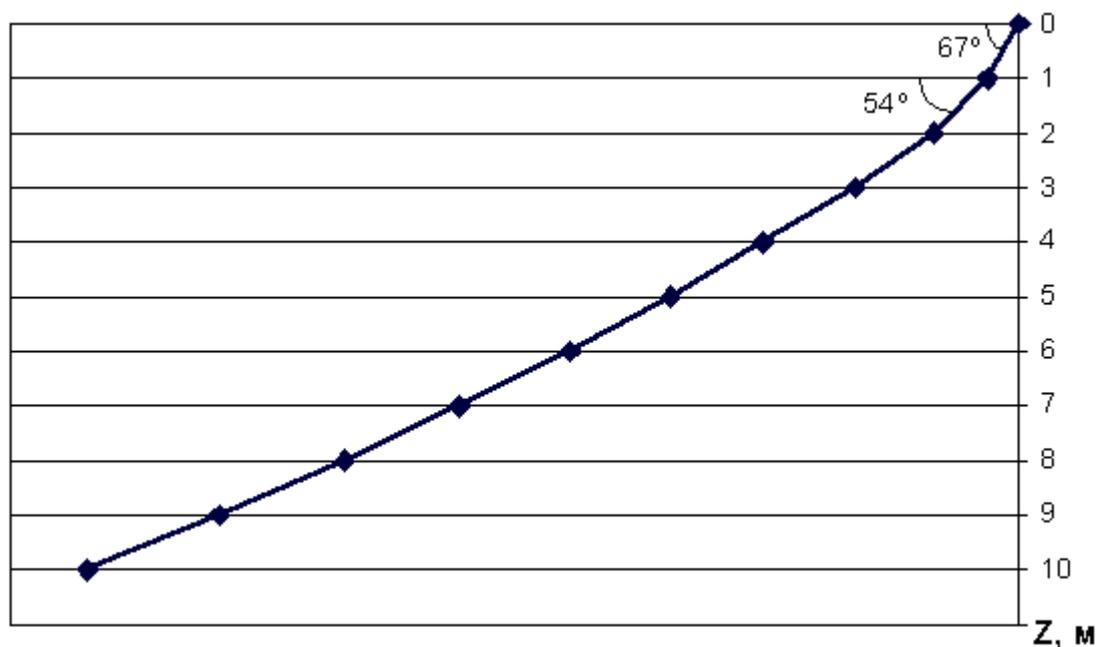


Рис. 6.1. Кривая равнопрочного откоса котлована глубиной 10 м в суглинке

Таким образом, рассчитана допустимая крутизна откоса котлована глубиной 10 м в суглинке.

**Задача 6.3.** Определить допустимую крутизну откоса выемки в глине глубиной 9 м при наличии нагрузки на поверхности 4 кПа.

**Решение.** Для решения воспользуемся приближенным аналитическим методом равнопрочного откоса, предложенным проф. Н.Н. Масловым [ 1 ] :

$$y = \frac{1}{\gamma \operatorname{tg}^2 \varphi} \{ \operatorname{tg} \varphi \gamma z + c \ln (\operatorname{tg} \varphi p + c) - c \ln [\operatorname{tg} \varphi (\gamma z + p) + c] \} \quad , (6.7)$$

где  $g$  – удельный вес грунта, кН/м<sup>3</sup>;  $z$  – расстояние от уровня земли до различных отметок котлована, м;  $j$  – угол внутреннего трения грунта, град;  $p$  – нагрузка на поверхности откоса выемки, кПа;  $c$  – удельное сцепление грунта, кПа.

По табл. 6.1 для глины принимаем  $c = 19$  кПа;  $j = 17^0$ ;  $g = 19,5$  кН/м<sup>3</sup>.

Для построения кривой равнопрочного откоса задаемся ординатой  $z$  и определяем ординату  $y$ .

Определим значения постоянных членов формулы (6.7):

$$\frac{1}{\gamma \operatorname{tg}^2 \varphi} = \frac{1}{19,5 \operatorname{tg}^2 17} = 0,55 \quad \text{м}^3/\text{кН},$$

$$c \ln (\operatorname{tg} \varphi p + c) = 19 \ln (\operatorname{tg} 17 \cdot 2 + 19) = 56,6$$

Результаты вычислений при разных  $z$  сводим в табл. 6.4.

$z, \text{ м}$	$\operatorname{tg} \varphi \gamma z$	$56,6 +$ $\operatorname{tg} \varphi \gamma z$	$\operatorname{tg} \varphi (\gamma z + p) + c$	$c \ln [\operatorname{tg} \varphi (\gamma z + p) + c]$	гр. 3 – – гр. 5	0,55г г гр. 6
1	2	3	4	5	6	7
1	5,97	62,57	26,19	62,04	0,53	0,29
2	11,94	68,54	32,16	65,94	2,6	1,43
3	17,91	74,51	38,13	69,18	5,33	2,93
4	23,88	80,48	44,09	71,94	8,54	4,7
5	29,85	86,45	50,06	74,35	12,1	6,66
6	35,82	92,42	56,03	76,49	15,93	8,76
7	41,79	98,39	61,99	78,41	19,98	10,99
8	47,76	104,36	67,96	80,16	24,2	13,31
9	53,73	110,33	73,93	81,76	28,57	15,71

Таблица 6.4 Определение крутизны откоса выемки

По данным табл. 6.4 строим кривую равнопрочного откоса (рис. 6.2).

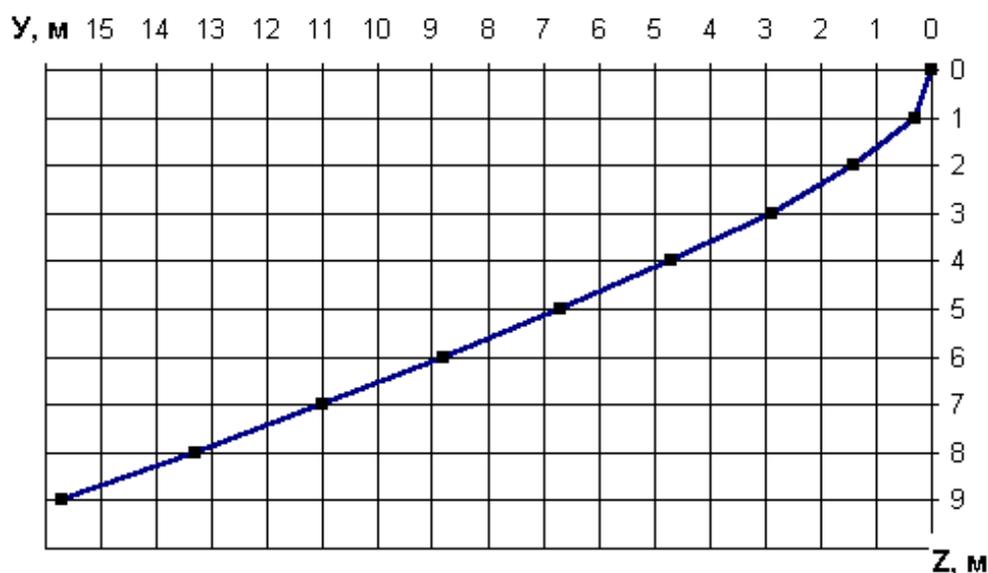


Рис. 6.2. Кривая равнопрочного откоса выемки в глине глубиной 9 м при наличии нагрузки на ее поверхности

Таким образом, определена допустимая крутизна откоса выемки в глине глубиной 9 м при наличии нагрузки на поверхности 4 кПа.

**Задача 6.4.** Определить крутизну волноустойчивого неукрепленного откоса пойменной насыпи из песчаного грунта. Гранулометрический состав грунта приведен в табл. 6.5. Исходные данные: высота насыпи – 5 м, расчетный уровень воды (РУВ) – 2,8 м. Параметры волны: длина – 2 м, высота – 0,8 м.

Таблица 6.5 Гранулометрический состав грунта

Размер частиц $d_i$ , мм	0,005ë 0,05	0,05ë 0,1	0,1ë 0,25	0,25ë 0,5	0,5ë 1	1ë 2	2ë 5	5ë 10
Содержание частиц $g_i$ , %	2	4	15	23	25	13	11	7

**Решение.** Крутизна откоса определяется из условия общей устойчивости насыпи и волноустойчивости откоса [1].

Общая устойчивость насыпи из несвязных грунтов достигается при крутизне откосов, приведенных в табл. 6.6.

Таблица 6.6 Крутизна устойчивых откосов  $m$  насыпи в зависимости от ее высоты и типа грунта

Грунт	Крутизна устойчивых откосов насыпи в зависимости от высоты насыпи, м		
	< 6	6–12	12–25
Песчаный	3,5	5,0	7,0
Гравийный	1,5	2,0	3,0
Песчано-гравийный	2,5	3,5	5,0

Таким образом, устойчивость насыпи из песчаного грунта высотой 5 м будет обеспечена при крутизне откоса  $m = 3,5$ .

Волноустойчивость неукрепленного пляжевого откоса, образующегося при свободном растекании гидросмеси, обеспечивается в условиях динамического равновесия в зоне волнового воздействия. Оценку параметров динамически устойчивого при воздействии волн поперечного профиля пляжевого откоса насыпи из песчаного грунта можно выполнить согласно СНиП 2.06.05-84 [4] по формулам:

$$m_{1,2} = m_0 + K_\lambda \sqrt{h_B \frac{\sqrt{\lambda_B}}{d_{cp}}}, \quad (6.8)$$

где  $m_{1,2}$  – крутизна соответствующих откосов (рис. 6.3);  $m_0$  – крутизна естественного откоса грунта насыпи под водой,  $m_0 = \operatorname{tg} \varphi'$ ;  $\varphi'$  – угол естественного откоса намывтого грунта, град, можно определить по формуле (6.2) или по табл. 6.2;  $l_B$  – длина волны, м;  $h_B$  – высота волны, м;  $K_I$  – коэффициент волнового динамического воздействия ( $K_I = 0,37$  для подводной части пляжного откоса от расчетного уровня воды в водоеме до нижней границы размывающего действия волн  $h_2$ ,  $K_I = 0,17$  для надводной части пляжного откоса от расчетного уровня воды в водоеме до верхней границы размывающего действия волн  $h_1$ );  $d_{cp}$  – средневзвешенный размер частиц грунта, м,

$$d_{cp} = \sum \frac{d_i g_i}{100}, \quad (6.9)$$

где  $d_i$  – размер фракций, м;  $g_i$  – доля фракций по массе, %;

$$d_{cp} = \frac{\frac{0,005 + 0,05}{2} \cdot 2 + \frac{0,05 + 0,1}{2} \cdot 4 + \frac{0,1 + 0,25}{2} \cdot 15 + \frac{0,25 + 0,5}{2} \cdot 23}{100} +$$

$$+ \frac{\frac{0,5+1}{2} \cdot 25 + \frac{1+2}{2} \cdot 13 + \frac{2+5}{2} \cdot 11 + \frac{5+10}{2} \cdot 7}{100} = 14 \text{ мм};$$

$$h_1 = 0,028 \left( \frac{h_B \lambda_B}{\sqrt{d_{cp}}} \right)^{0,67}; \quad (6.10)$$

$$h_2 \approx 0,5 h_B. \quad (6.11)$$

Таким образом, по вышеприведенным формулам рассчитываем неукрепленный откос пойменной насыпи и вычерчиваем поперечный разрез (рис. 6.3):

$$m_1 = \text{tg}25 + 0,17 \sqrt{0,8 \frac{\sqrt{\frac{2}{0,8}}}{0,0014}} = 5,6;$$

$$h_2 = 0,028 \left( \frac{0,8 \cdot 2}{\sqrt{0,0014}} \right)^{0,67} = 0,35 \text{ м};$$

$$m_2 = \text{tg}25 + 0,37 \sqrt{0,8 \frac{\sqrt{\frac{2}{0,8}}}{0,0014}} = 11,6;$$

$$h_1 \approx 0,5 \cdot 0,8 \approx 0,4 \text{ м}.$$

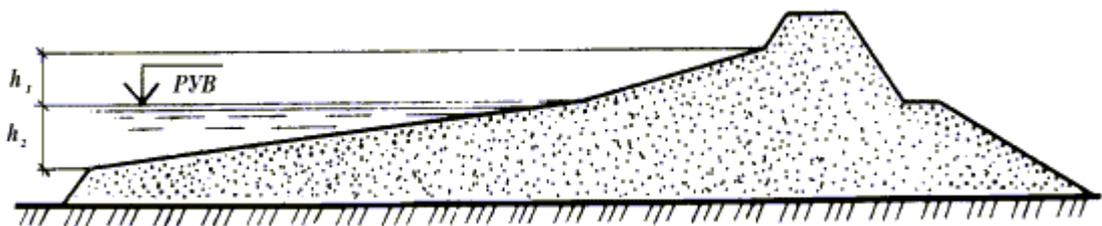
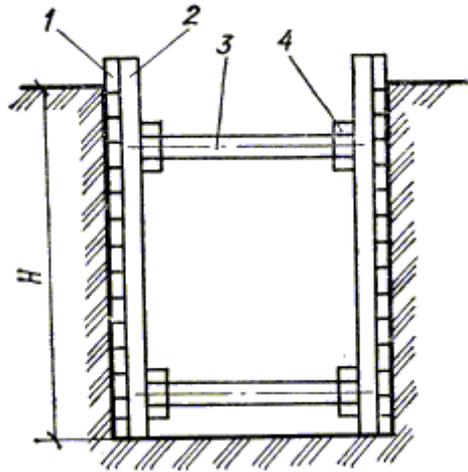


Рис. 6.3. Расчетная схема для определения крутизны волноустойчивого неукрепленного откоса пойменной насыпи из песчаного грунта

**Задача 6.5.** В суглинке необходимо сделать траншею с вертикальными стенками глубиной 8 м. Рассчитать крепление траншеи. Для крепления применить доски толщиной 0,06 м.



**Решение.** Крепление траншеи примем распорного вида (рис. 6.4). В связных грунтах естественной влажности крепление выполняют или с просветом в одну доску, или сплошное. Таким образом, требуется рассчитать шаг стоек и площадь сечения распорок, необходимые для создания устойчивости траншеи. Крепления рассчитываются на активное давление грунта с учетом дополнительных нагрузок на призму обрушения

Активное давление связного грунта, кПа, где по поверхности скольжения одновременно действуют как силы трения, так и силы сцепления, определяется по формуле

$$\sigma_{\text{акт}} = H \gamma \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (6.12)$$

Расчет шага стоек производится по эмпирической формуле

$$l = \frac{1440b}{\sqrt{1000\sigma_{\text{акт}}}} \quad (6.13)$$

где  $l$  – шаг стоек (или пролет досок), м;  $b$  – принятая толщина доски, м.

Расчетные нагрузки на нижнюю  $s_n$  и верхнюю  $s_v$  распорки определяются по формулам:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_{\text{акт}} H l}{3} \quad ; (6.14)$$

$$\sigma_v = \frac{\sigma_{\text{акт}} H l}{6} \quad (6.15)$$

Сечение нижней  $S_n$  и верхней  $S_v$  распорок,  $\text{м}^2$ , определяются по формулам:

$$S_H = \frac{\sigma_H}{R_{сж}}; \quad (6.16)$$

$$S_B = \frac{\sigma_B}{R_{сж}}, \quad (6.17)$$

где  $R_{сж}$  – допустимое напряжение на сжатие (принимается по справочным данным), кПа. Обычно сечение распорок принимается одинаковым по максимальному значению.

Диаметр деревянной распорки выводится из формулы площади круга:

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}. \quad (6.18)$$

По табл. 6.1 принимаем следующие характеристики суглинка:  $g = 2100 \text{ кг/м}^3$ ;  $j = 24^\circ$ ;  $c = 39 \text{ кПа} = 3900 \text{ кг/м}^2$ .

По формуле (6.12)

$$\sigma_{акт} = 8 \cdot 2100 \text{ tg}^2\left(45 - \frac{24}{2}\right) - 2 \cdot 3900 \text{ tg}\left(45 - \frac{24}{2}\right) = 1986 \text{ кг/м}^2 = 1986 \text{ кПа}.$$

$$\text{Согласно формуле (6.13)} \quad l = \frac{1440 \cdot 0,06}{\sqrt{1000 \cdot 1986}} = 0,61 \text{ м}.$$

$$\text{По формулам (6.14) и (6.15)} \quad \sigma_H = \frac{1986 \cdot 8 \cdot 0,61}{3} = 323 \text{ кН},$$

$$\sigma_B = \frac{1986 \cdot 8 \cdot 0,61}{6} = 16,2 \text{ кН}.$$

Расчетное сопротивление древесины на сжатие  $R_{сж}$  примем 14700 кПа, тогда расчетное сечение распорок согласно (6.16):

$$S_H = \frac{323}{14700} = 0,0022 \text{ м}^2.$$

$$\text{По формуле (6.18)} \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0022}{3,14}} = 0,053 \text{ м}.$$

Таким образом, при разработке траншеи с вертикальными стенками глубиной 8 м необходимо устроить крепление распорного вида. Доски толщиной 0,06 м должны удерживаться стойками, расположенными на расстоянии 0,61 м друг от друга, и распорками с площадью сечения не менее 22 см<sup>2</sup> (диаметр 5,3 см).

### Задача 6.6.

В песке средней крупности необходимо сделать уступ с вертикальными стенками, глубиной 3 м. Рассчитать анкерное крепление стенки уступа. Для крепления намечено применить стойки диаметром 0,06 м и доски толщиной 0,05 м.

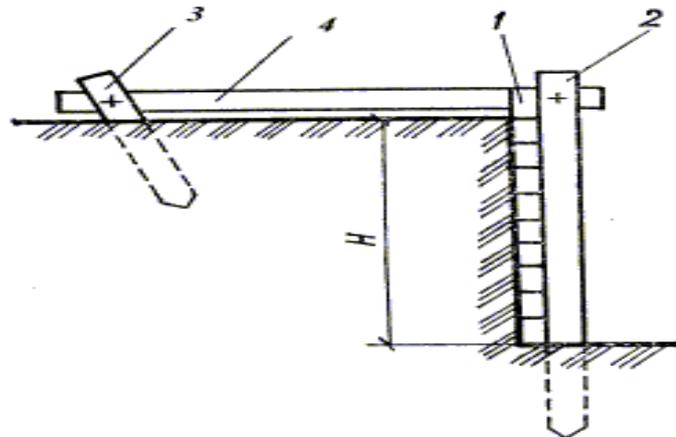


Рис. 6.5. Анкерное крепление вертикальных стенок уступа: 1 – крепящие доски; 2 – стойка; 3 – анкер; 4 – затяжка

**Решение.** Крепление котлована в сыпучих грунтах выполняют сплошное. Анкерное крепление (рис. 6.5) рассчитывается на активное давление грунта с учетом дополнительных нагрузок на призму обрушения

Активное давление  $\sigma_{\text{акт}}$ , кПа, несвязного грунта определяется по формуле

$$\sigma_{\text{акт}} = H \gamma \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right), \quad (6.19)$$

где  $H$  – глубина траншеи, м;  $\gamma$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>, принимается по справочным данным (табл. 6.1);

$\varphi'$  – угол естественного откоса, град; определяется по табл. 6.2 или по формуле (6.2).

При заданном диаметре стойки необходимо определить диаметр затяжки по максимальному усилию  $N_{\text{max}}$ :

$$N_{\max} = \frac{\sigma_{\text{акт}} l H}{2}, \quad (6.20)$$

где  $l$  – шаг стоек (или пролет досок), м, рассчитывается по формуле (6.13).

При этом должно соблюдаться условие прочности по первому предельному состоянию для центрально-растянутых элементов:

$$\frac{N_{\max}}{F} \leq R_p, \quad (6.21)$$

где  $R_p$  – расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон, кПа (принимается по справочным данным);  $F$  – площадь поперечного сечения стяжки,  $\text{м}^2$ .

По табл. 6.1 принимаем следующие характеристики песка:  $g = 1450 \text{ кг/м}^3$ ;  $j = 37^\circ$ .

По формуле (6.2) определяем

$$\varphi' = \arctg \frac{\text{tg}37}{15} = 26,7^\circ$$

Тогда активное давление на крепление согласно формуле (6.15):

$$\sigma_{\text{акт}} = 3 \cdot 1450 \text{ tg}^2 \left( 45 - \frac{26,7}{2} \right) = 1646 \text{ кг/м}^2 = 16,46 \text{ кПа}.$$

По формуле (6.9) определяем шаг стоек:

$$l = \frac{1440 \cdot 0,05}{\sqrt{1000 \cdot 16,46}} = 0,56 \text{ м},$$

$$N_{\max} = \frac{1646,4 \cdot 0,56 \cdot 3}{2} = 138298 \text{ кг}.$$

Из условия (6.17) определяем площадь сечения стяжки:

$$F \leq \frac{N_{\max}}{R_p} = \frac{138298}{800000} = 0,0017 \text{ м}^2.$$

Тогда диаметр стяжки согласно формуле (6.14):

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0017}{3,14}} = 0,047 \text{ м.}$$

Таким образом, при выполнении в песке средней крупности уступа с вертикальными стенками, глубиной 3 м необходимо устроить анкерное крепление. Доски толщиной 0,05 м должны удерживаться стойками, расположенными на расстоянии 0,56 м друг от друга, и стяжками с площадью сечения не менее 17 см<sup>2</sup> (диаметр не менее 4,7 см).

**Задача 6.7.** Определить границу потенциально опасной зоны вблизи строящегося панельного здания, в пределах которой возможно падение предметов.

**Решение.** Границы опасных зон необходимо определять вблизи строящегося здания от падения предметов, во-первых, непосредственно со здания; во-вторых, при перемещении конструкций краном. В общих случаях границы опасных зон принимаются согласно СНиП III-4-80\* (табл. 6.7).

Таблица 6.7 Границы опасных зон в зависимости от высоты возможного падения предметов

Высота возможного падения предмета, м	Граница опасной зоны, м	
	от горизонтальной проекции максимальных габаритов перемещаемого машинами груза	от внешнего периметра строящегося здания или сооружения
< 10	4	3,5
10–20	7	5
20,1–70	10	7
70,1–120	15	10
120,1–200	20	15
200,1–300	25	20
300,1–450	30	25

Для определения размеров опасной зоны, возникающей от возможного падения конкретных конструкций при перемещении их краном, можно пользоваться следующей формулой:

$$S_k = \sqrt{h [l(1 - \cos \varphi) n]}, \quad (6.22)$$

где  $S_k$  – предельно возможный отлет конструкции в сторону от первоначального положения ее центра тяжести при возможности свободного падения, м;  $l$  – длина стропы, м;  $\varphi$  – угол между вертикалью и стропом, град;  $n$  –

половина длины конструкции, м;  $h$  – высота подъема конструкции над уровнем земли в процессе монтажа, м.

Определим  $S_k$  при падении монтируемой стеновой панели ПС600.18.20-1 размерами  $b \Gamma 1,8 \Gamma 0,2$  м массой 1800 кг с высоты 25 м:

$$S_k = \sqrt{25 [4 (1 - \cos 45^\circ) 3]} = 9,4 \text{ м.}$$

Границы опасной зоны вблизи башенного крана определяют по следующим формулам:

по длине рельсового пути

$$S_{k_d} = l + 2(R + S_k); \quad (6.23)$$

по ширине рельсового пути

$$S_{k_w} = b + 2(R + S_k); \quad (6.24)$$

где  $l$  – длина подкранового пути, м;  $b$  – ширина колеи, м;  $R$  – максимальный вылет крюка, м. Грузовые характеристики некоторых башенных кранов приведены в табл. 6.8.

Таблица 6.8

Грузовые характеристики башенных кранов

Марка крана	Грузоподъемность, кН	Вылет крюка, м	Высота подъема крана, м
БК-300	8–25	9–30	45–72
БК-180	6–8	2,5–30	35,5–108,3
БК-573	4–8	2,5–40	35,5–147,5
МСК-10-20	10	10–20	36–46

$$S_{k_d} = 150 + 2(30 + 9,4) = 228,8 \text{ м}; \quad S_{k_w} = 6 + 2(30 + 9,4) = 84,8 \text{ м.}$$

Если кран работает с компактными грузами, обладающими незначительной парусностью, то граница опасной зоны может быть подсчитана по формуле

$$S_k = 0,32 w R \sqrt{h}, \quad (6.25)$$

Определим  $S_k$  при монтаже краном МСК-10-20 конструкции массой 8 т на высоту 30 м и угловой скорости вращения стрелы 0,1 1/с

$$S_k = 0,32 \cdot 0,1 \cdot 20 \cdot \sqrt{30} = 3,5 \text{ м.}$$

**Задача 6.8.** Подобрать стальные канаты для стропов с четырьмя ветвями при подъеме грузов с максимальным весом 40 кН при вертикальном и наклонном положении стропов.

**Решение.** Канаты, используемые в стропях, необходимо рассчитывать на прочность в соответствии с требованиями Госгортехнадзора. Расчетом определяем сечение каната по допускаемому усилию с учетом требуемого запаса прочности по формуле

$$S_{\text{доп}} \leq \frac{P}{K}, \quad (6.26)$$

где  $S_{\text{доп}}$  – допускаемое усилие в канате, Н;  $P$  – разрывное усилие каната по заводскому паспорту или определяемое путем испытания, Н;  $K$  – коэффициент запаса прочности, принимается в зависимости от назначения каната (табл. 6.9)

Таблица 6.9 Коэффициент запаса прочности стального каната

Назначение каната	K
Стропы огибающие для подъема груза весом до 500 кН	8
Стропы огибающие для подъема груза весом более 500 кН	6
Стропы, прикрепляемые к грузу при помощи крюков или колец без его огибания	6
Ванты, расчалки, оттяжки с учетом нагрузки от ветра	3,5
Полиспаст с ручной лебедкой	4,5
Полиспаст с электрической лебедкой	5

При вертикальном положении стропов допускаемое усилие в каждой ветви определяется по формуле

$$Q \cdot \varphi_0 (R), \quad (6.27)$$

где  $Q$  – вес поднимаемого груза, Н;  $m$  – число ветвей стропов.

$$S_{\text{доп.в}} = \frac{40000}{4} = 10000 \quad H = 10 \text{ кН.}$$

С учетом коэффициента запаса  $K$ :  $S_{\text{доп.в}} = 10 \cdot 8 = 80 \text{ кН}$

При наклонном положении стропа усилие в ветвях увеличивается:

$$S_{\text{доп.накл}} = \frac{1}{\cos\alpha} \frac{Q}{m}, \quad (6.28)$$

где  $\alpha$  – угол наклона стропа к вертикали, град.

Примем угол наклона стропа равным  $60^\circ$ , тогда

$$S_{\text{доп.накл}} = \frac{1}{\cos 60} \cdot \frac{40000}{4} = 2 \cdot 10000 = 20000 \quad H = 20 \text{ кН.}$$

С учетом коэффициента запаса  $K$ :  $S_{\text{доп.накл}} = 20 \cdot 6 = 120 \text{ кН.}$

Таким образом, допустимое усилие в ветвях стропа с учетом запаса прочности при подъеме груза весом 40 кН равно 80 кН при вертикальном положении стропов и 120 кН при наклонном положении стропов.

Основным несущим гибким элементом инвентарного канатного стропа является стальной проволочный канат, который состоит из определенного числа проволок, перевитых между собой и образующих прядь. Несколько прядей, также перевитых между собой и расположенных на центральном сердечнике, образуют собственно канат. Характеристики стальных проволочных канатов представлены в табл. 6.10.

По ГОСТ 2688-80\* принимаем стальной канат типа ЛК-Р диаметром 15 мм. Разрывное усилие каната при расчетном пределе прочности 1666 МПа составляет 122 кН, что больше расчетного усилия, равного 120 кН.

Таблица 6.10 Характеристика стальных проволочных канатов

Диаметр каната, мм	Площадь поперечного сечения проволоки, мм	Масса 1000 м каната, кг	Разрывное усилие каната в целом, кН, при маркировочной группе проволок, МПа			
			1666	1764	1862	1960
Канат бг 36+1о.с. (ГОСТ 7668-80*) с числом проволок 216 шт., тип касания ЛК-РО						
11,5	51,96	513	70,95	75,1	78,2	80,7
13,5	70,55	696,5	96,3	101,5	106	109
15	82,16	812	111,5	116,5	122,5	128
16,5	105,73	1045	144	150	157,5	165
18	125,78	1245	171,5	175,5	186,5	190
20	154	1520	210	215	229	233,5
22	185,1	1820	252,5	258,5	275	280,5
23,5	252,46	2495	344	352,5	375,5	383
27	283,8	2800	387,5	396,5	422	430,5
29	325,4	3215	444	454,5	484	493,5

31	370	3655	505	517	550,5	561,5
Канат бг 37+1о.с. (ГОСТ 3079-80*) с числом проволок 222 шт., тип касания ТЛК-О						
11,5	47,01	468	66,5	68,75	71,7	74,5
13,5	66,56	662,5	94,2	97,1	100,5	105,5
15,5	85,54	851,5	121	124	130	136
17	107	1065	151	155,5	162,5	170
19,5	135,5	1350	191,5	197	206,5	215,5
21,5	167	1670	237	244,5	255,5	266,5
23	193,6	1930	274	283	295	307
25	225,4	2245	318,5	328,5	343	358,3
27	266,25	2650	376,5	388,5	406	423,5
29	303	3015	428,5	441,5	464	482
30,5	342,16	3405	484	499	522	544,5
Канат бг 19+1о.с. (ГОСТ 2688-80*) с числом проволок 114 шт., тип касания ЛК-Р						
11	47,19	461,6	66,75	68,8	72	75,15
12	53,9	527	76,2	78,53	81,9	85,75
13	61	596,6	86,3	89	92,8	97
14	74,4	728	105	108	112,5	118
15	86,28	844	122	125,5	131	137
16,5	104,6	1025	147,5	152	159	166
18	124,7	1220	176	181,5	189,5	198
19,5	143,6	1405	203	209	218,5	228
21,5	167	1635	236	243,5	254	265,5
22,5	188,8	1850	267	275	287,5	303,5
24	215,5	2110	304,5	314	328	343
25,5	244	2390	345	355,5	372	388,5
27	274,3	2685	388	399,5	418	436,5
28	297,6	2910	421	434	453,5	473
30,5	356,7	3490	504,5	520	544	567,5
32	393	3845	556	573	599,5	625,5

**Задача 6.9.** Подобрать канаты для временного раскрепления колонны при помощи четырех растяжек. Высота колонны – 10,2 м; сечение – 0,5г 0,5 м; масса – 5300 кг.

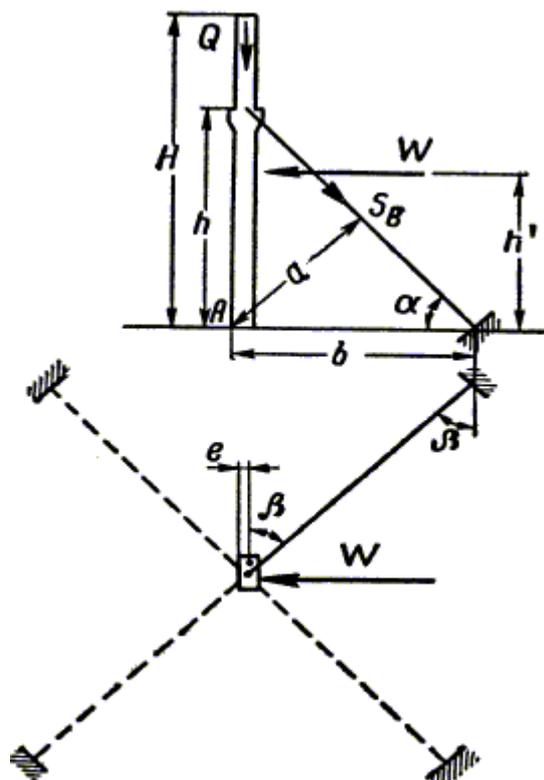


Рис. 6.6. Расчетная схема крепления колонн растяжками

**Решение.** Для временного раскрепления колонн необходимо не менее трех растяжек. Угол заложения растяжек к горизонту принимается обычно 45–60°, при углах заложения менее 45° увеличивается длина растяжки, при углах заложения более 60° в растяжках возникают значительные напряжения, что требует значительного увеличения их диаметра.

Для расчета принимаем 4 растяжки, угол заложения растяжек к горизонту  $\alpha = 60^\circ$ , высоту крепления растяжек  $h = 8$  м (рис. 6.6).

Определяем расстояние от точки опрокидывания до места крепления растяжки к якорю  $b$ :

$$b = \frac{h}{\operatorname{tg}\alpha}, \quad (6.29)$$

где  $h$  – высота крепления растяжек, м;  $\alpha$  – угол заложения растяжек к горизонту, град,

$$b = \frac{8}{\operatorname{tg}60^\circ} = 4,62 \text{ м.}$$

Определяем опрокидывающий момент от собственного веса колонны относительно ребра опрокидывания  $M_0$ , НЧ м:

$$M_0 = Qe, \quad (6.30)$$

где  $Q$  – вес колонны, Н;  $e$  – расстояние от центра тяжести колонны до ребра опрокидывания, м.

$$\text{Из рис. 6.6} \quad e = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ м;}$$

$$M_0 = 9,8 \cdot 5300 \cdot 0,25 = 12985 \text{ НЧ м.}$$

Определяем давление ветра  $W$ , Н, на наветренную плоскость колонны

$$W = g_0 k c F, \quad (6.31)$$

где  $g_0$  – скоростной ветровой напор, Па, значения которого в зависимости от района строительства [5] следующие: I – 270 Па, II – 350 Па, III – 450 Па, IV – 550 Па, V – 700 Па, VI – 850 Па, VII – 1000 Па;  $k$  – коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора по высоте с учетом типа местности (табл. 6.11);  $c$  – аэродинамический коэффициент сопротивления, который для сплошных балок и ферм прямоугольного сечения равен 1,49, для прямоугольных кабин и т.п. – 1,2, для конструкций из труб диаметром 170 мм – 0,7 и диаметром 140...170 мм – 0,5;

$F$  – наветренная поверхность конструкции, м<sup>2</sup>.

Таблица 6.11 Значения коэффициента  $k$  [5]

Местность	Высота над поверхностью земли, м				
	10	20	40	60	100
Открытая	1	1,25	1,55	1,75	2,1
Покрытая препятствиями	0,65	0,9	1,2	1,45	1,8

$$W = 700 \cdot 1 \cdot 1,49 \cdot 0,5 \cdot 10,2 = 5319,3 \text{ Н.}$$

Момент от действия ветра на колонну, НЧ м, определяется по формуле

$$M_B = W h', \quad (6.32)$$

где  $h_{\text{ц}}$  – расстояние от основания колонны до центра приложения ветровой нагрузки, м

$$M_{\text{в}} = 5319,3 \cdot 5,1 = 27128,4 \text{ НЧ м.}$$

Определяем усилие в четырех растяжках  $S_{\text{в}}$ , Н:

$$S_{\text{в}} = \frac{M_{\text{в}} - M_0}{b \sin \alpha}, \quad (6.33)$$

$$S_{\text{в}} = \frac{27128,4 - 12985}{4,62 \sin 60^\circ} = 3534,9 \text{ Н.}$$

Усилие в одной растяжке  $S'_{\text{в}}$ , Н, определяется по формуле

$$S'_{\text{в}} = \frac{S_{\text{в}}}{2 \sin \beta}, \quad (6.34)$$

где  $\beta$  – угол между растяжкой и осью колонны в плане.

$$S'_{\text{в}} = \frac{3534,9}{2 \sin 45^\circ} = 2499,6 \text{ Н.}$$

Расчетное усилие в растяжке  $S'_{\text{вРАСЧ}}$ , Н, принимается с учетом коэффициента запаса прочности, равного 3,5:

$$S'_{\text{вРАСЧ}} = 2499,6 \cdot 3,5 = 8748,6 \text{ Н.}$$

По ГОСТ 3079-80\* принимаем стальной канат типа ТЛК-О диаметром 11,5 мм (табл. 6.10). Разрывное усилие каната при расчетном пределе прочности 1666 МПа составляет 66,5 кН.

**Задача 6.10.** Оценить устойчивость башенного крана при подъеме груза весом 15 кН с учетом дополнительных нагрузок и уклона пути (рис. 6.7). Исходные данные:  $G = 30$  кН;  $c = 0,30$  м;  $v = 0,5$  м/с;  $t = 5$  с;  $W_{\text{к}} = 150$  Па;  $r = 15$  м;  $W_{\text{г}} = 50$  Па;  $n = 0,2$  мин<sup>-1</sup>;  $h = 10$  м;  $H = 25$  м;  $a = 2^\circ$ ;  $b = 2$  м;  $a = 25$  м;  $r_1 = 26$  м.

**Решение.** Для обеспечения устойчивости машин необходимо превышение момента удерживающих сил над моментом опрокидывающих сил.

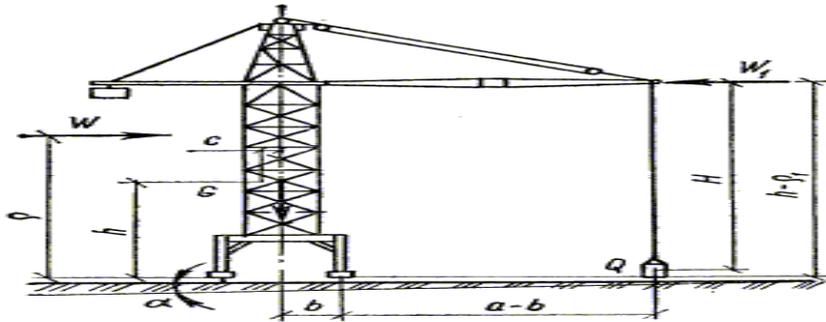


Рис. 6.7. Расчетная схема устойчивости башенного крана с грузом

Грузовая устойчивость крана обеспечивается при условии

$$K_{г.у} \geq \frac{M_{о.д}}{M_{г}}, \quad (6.35)$$

где  $K_{г.у}$  – коэффициент грузовой устойчивости, принимаемый равным 1,4 на горизонтальном пути без учета дополнительных нагрузок, и равным 1,15 с учетом дополнительных нагрузок;  $M_{о.д}$  – момент от основных и дополнительных нагрузок, действующих на кран относительно того же ребра опрокидывания с учетом наибольшего допустимого уклона пути, НЧ м;  $M_{г}$  – момент, создаваемый рабочим грузом относительно ребра опрокидывания, НЧ м;

$$M_{г} = Q (a - b), \quad (6.36)$$

где  $Q$  – вес наибольшего рабочего груза, Н;  $a$  – расстояние от оси вращения до центра тяжести рабочего груза наибольшей массы, подвешенного к крюку, м;  $b$  – расстояние от оси вращения до ребра опрокидывания, м;

$$M_{о.д} = M_{в} - M_{у} - M_{ц.с} - M_{и.с} - M_{w}, \quad (6.37)$$

где  $M_{в}$  – восстанавливающий момент от действия собственного веса крана, НЧ м;  $M_{у}$  – момент, возникающий от действия собственного веса крана при уклоне пути, НЧ м;  $M_{ц.с}$  – момент от действия центробежных сил, НЧ м;  $M_{и.с}$  – момент от инерционных сил при торможении опускающегося груза, НЧ м;  $M_{w}$  – момент от ветровой нагрузки, НЧ м,

$$M_{в} = G (b + c) \cos \alpha, \quad (6.38)$$

где  $G$  – вес крана, Н;  $c$  – расстояние от оси вращения крана до его центра тяжести, м;  $\alpha$  – угол наклона пути крана, град (для передвижных стреловых кранов и кранов-экскаваторов  $\alpha = 3^{\circ}$  – при работе без выносных опор и  $\alpha = 1,5^{\circ}$  при работе с выносными опорами; для башенных кранов  $\alpha = 2^{\circ}$  – при работе на временных путях и  $\alpha = 0^{\circ}$  – при работе на постоянных путях);

$$M_y = G h_1 \sin \alpha, \quad (6.39)$$

где  $h_1$  – расстояние от центра тяжести крана до плоскости, проходящей через точки одного контура, м;

$$M_{ц.с} = \frac{Q n^2 a h}{900 - n^2 H}, \quad (6.40)$$

где  $n$  – частота вращения крана вокруг вертикальной оси,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $h$  – расстояние от оголовка стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м;  $H$  – расстояние от оголовка стрелы до центра тяжести подвешенного груза, который находится над землей на расстоянии 20–30 см;

$$M_{и.с} = \frac{Qv(a-b)}{gt}, \quad (6.41)$$

где  $v$  – скорость подъема груза (при свободном опускании груза  $v = 1,5 \text{ м/с}$ );  $g$  – ускорение свободного падения, равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $t$  – время неустановившегося режима работы механизма подъема (время торможения), с;

$$M_w = M_{w.k} + M_{w.г} = W_k r + W_r r_1, \quad (6.42)$$

где  $M_{w.k}$  – момент от действия ветровой нагрузки на вертикальную плоскость крана;  $M_{w.г}$  – момент от действия ветровой нагрузки на вертикальную плоскость груза;  $W_k$  – ветровая нагрузка, приложенная в центре тяжести крана, Па;  $W_r$  – ветровая нагрузка, действующая на наветренную площадь груза, Па;  $r = h$  и  $r_1 = h_1$  – расстояние от основания до центра приложения ветровой нагрузки, м.  $W_k$  и  $W_r$  определяют по формуле (6.31). Наветренную поверхность крана  $F$ ,  $\text{м}^2$ , определяют площадью, ограниченной контуром крана, умноженной на коэффициент заполнения элементами решетки, для сплошных сечений равный 1, для решетчатых – 0,3...0,4. В расчетах устойчивости кранов давление ветра для самоходных стреловых кранов принимают 250 Па, для высоких башенных – 150 Па.

Произведем расчет. Удерживающий момент согласно формулам (6.35)–(6.42):

$$M_{о.д} = 3000(2 + 0,3) \cos 2^\circ - 3000 \cdot 26 \cdot \sin 2^\circ - \frac{1500 \cdot 0,2^2 \cdot 25 \cdot 10}{900 - 0,2^2 \cdot 25} - \frac{1500 \cdot 0,5(25 - 2)}{9,81 \cdot 5} - 150 \cdot 15 - 50 \cdot 26 = 3970269 \text{ НЧ м};$$

$$M_r = 1500(25 - 2) = 34500 \text{ НЧ м};$$

$$K_{г.у} = \frac{M_{о.д}}{M_r} = \frac{3970269}{34500} = 1151 \geq 1,15$$

Таким образом, грузовая устойчивость крана с учетом дополнительных нагрузок при заданных условиях эксплуатации обеспечена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана труда в строительстве. Инженерные решения: Справочник / В.И. Русин, Г.Г. Орлов, Н.М. Неделько и др. – Киев: Будивэльнык, 1990. – 208 с.
2. Инженерные решения по технике безопасности в строительстве / Н.Д. Золотницкий, А.М. Гнускин, В.И. Максимов и др. – М.: Стройиздат, 1969. – 264 с.
3. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М., 1988. – 38 с.
4. СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 32 с.
5. Кондратьев, А.И. Охрана труда в строительстве / А.И. Кондратьев, Н.М. Местечкина. – М.: Высшая школа, 1990.

## 7. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### 7.1. Электропожаробезопасность

Представлены решения задач по расчету факторов возникновения пожара: токов короткого замыкания и перегрузки в электроустановках, молниезащиты и защиты от статического электричества, зон воздействия горящих разливов и огненных шаров на людей, подвижной состав, здания и сооружения объектов железнодорожного транспорта. При этом использовались методики [2, 5, 7, 10], нормативные документы [1, 2, 4, 8, 9], научно-техническая литература [6].

**Выбор плавких вставок к предохранителям по условиям пожарной безопасности.** Выбор номинальных токов тепловых расцепителей АВ или нагревательного элемента теплового реле магнитного пускателя  $I_{\text{ном.тепл}}$ , а также номинальных токов электромагнитных расцепителей  $I_{\text{ном.элм}}$  необходимо производить по соотношениям

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq I_{р\text{ и}} \quad I_{\text{ном.элм}} \geq I_{р.}$$

Плавкая вставка при пуске двигателя не расплавится, если выполняются следующие условия:

– при защите одиночных двигателей, имеющих длительность пускового периода 2...2,5 с

$$I_{\text{НОМ.В}} \geq \frac{I_{\text{п.дв}}}{2,5};$$

– при защите одиночного двигателя с частыми пусками и длительностью пускового периода более 2,5 с

$$I_{\text{НОМ.В}} \geq \frac{I_{\text{п.дв}}}{1,6...2};$$

– при защите линии, к которой подключена смешанная нагрузка,

$$I_{\text{НОМ.В}} \geq \frac{I_{\text{р}} + I_{\text{п.дв}}}{2,5}.$$

### Примеры решения задач

**Задача 7.1.** Асинхронный двигатель типа А2-92-6, соединенный с вентилятором, имеет следующие технические данные: номинальная мощность  $P_{\text{НОМ}} = 74$  кВт; номинальное линейное напряжение  $U_{\text{НОМ}} = 380$  В; номинальный ток статора  $I_{\text{НОМ.ДВ}} = 135$  А; кратность пускового тока  $k = 6,9$ . Требуется выбрать плавкие вставки к предохранителям типа ПН-2, установленным на линии, питающей двигатель, при условии, что двигатель загружен полностью.

**Решение.** Так как по условию двигатель загружен полностью, принимаем расчетный ток линии равным номинальному току двигателя:

$$I_{\text{л}} = 135 \text{ А.}$$

Первое условие для выбора номинального тока плавкой вставки по длительному току линии приводит к соотношению

$$I_{\text{НОМ.В}} \geq 135 \text{ А.}$$

Второе условие для выбора плавкой вставки по пусковому току двигателя выполнено, если пусковой ток двигателя будет не более

$$I_{\text{п.дв}} = 6,9 \cdot 135 = 932 \text{ А.}$$

Отсюда получаем

$$I_{\text{НОМВ}} = \frac{932}{2,5} = 373 \text{ А.}$$

Ближайшей плавкой вставкой для предохранителя типа ПН-2 будет вставка на номинальный ток 400 А.

**Задача 7.2.** К однофазной сети (рис. 7.1) подключена розетка Р. В силу каких то причин в месте соединения провода с одним из ее зажимов образовалось переходное сопротивление  $R_{\Pi} = 100$  Ом. К розетке подключена нагрузка, внутренним сопротивлением которой можно пренебречь ( $R_B = 0$ ). Сопротивление фазного и нулевого провода от места подключения розетки до нулевой точки составляет по 1 Ом. Определить мощность, выделяемую в переходном сопротивлении  $R_{\Pi}$ , и оценить опасность воспламенения изоляции.

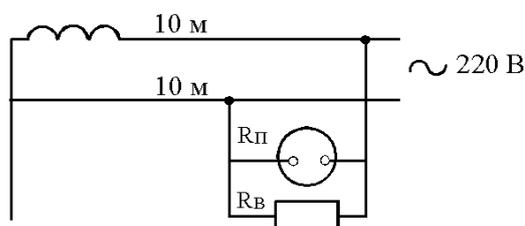


Рис. 7.1. К расчету мощности потерь в месте переходного сопротивления

**Решение.** Пожарная опасность больших переходных сопротивлений в электрических контактах определяется количеством теплоты, выделяющейся в контактном соединении, которая в свою очередь зависит от состояния конструкции контактирующих элементов, надежности и прочности закрепления контактов. Интенсивное выделение теплоты в контактном соединении ведет к нагреву изоляции и деталей из пластмассы, а при достижении ими температуры самовоспламенения – к их воспламенению.

Мощность, выделяемую в переходном сопротивлении  $R_{\Pi}$ , находим из выражения

$$P_{R_{\Pi}} = I^2 R_{\Pi}, (7.1)$$

где  $I$  – величина тока в переходном сопротивлении, которую рассчитываем по формуле

$$I = \frac{U}{R_{\Pi} + R_{\phi} + R_0}, (7.2)$$

где  $U$  – напряжение сети, В;  $R_{\phi}$  и  $R_0$  – соответственно сопротивления фазного и нулевого провода сети, Ом.

Тогда

$$P_{R_{\Pi}} = \left( \frac{220}{100+1+1} \right)^2 100 \approx 465 \text{ Вт.}$$

Такой мощности вполне достаточно для разогрева изоляции до температуры ее воспламенения.

**Задача 7.3.** Определить мощность, выделяемую в переходном сопротивлении однофазной сети (рис. 7.1), и оценить опасность воспламенения изоляции. В розетке сети, в месте соединения проводов, образовалось переходное сопротивление  $R_{\Pi} = 70$  Ом. Сопротивление фазного и нулевого проводов от места подключения розетки до нулевой точки составляет по 1 Ом. Напряжение сети 127 В.

**Решение.** По формулам (7.1) и (7.2) определяем мощность, выделяемую в переходном сопротивлении  $R_{\Pi}$ ,

$$P_{R_{\Pi}} = \left( \frac{127}{70+1+1} \right)^2 70 = 217 \text{ Вт.}$$

Полученная величина мощности  $P_{R_{\Pi}}$  достаточна для воспламенения изоляции проводов.

**Задача 7.4.** Питание зарядного пункта электропогрузчиков осуществляется по воздушной четырехпроводной линии длиной  $\ell = 180$  м от трансформатора 6/0,4 кВ мощностью 40 кВА со схемой Д/У. Воздушная проводка выполнена фазными проводами А25 и нулевым А16, а внутренняя – на роликах проводом ПР сечением 10 мм<sup>2</sup>. Наиболее защищаемый удаленный электропотребитель отстоит от распределительного щитка зарядного пункта на 20 м.

Линия защищена на трансформаторной подстанции плавкими предохранителями с номинальным током вставки  $I_{\text{ном}} = 60$  А, которые определены с учетом селективности срабатывания.

Для обеспечения пожарной безопасности следует определить, обеспечивается ли необходимая кратность тока однофазного замыкания.

**Решение.** Полное сопротивление трансформатора принимаем по [7, табл. 56]  $Z_T = 1,949$ , тогда  $Z_T/3 = 0,65$  Ом. Определяем активное сопротивление фазного провода воздушной проводки:

$$R_{\phi} = \frac{\rho \ell}{S}, \quad (7.3)$$

где  $r$  – удельное сопротивление материала проводов, ОмЧ м, определяем по [7];  $\ell$  – длина воздушной линии, м;  $S$  – сечение фазного провода, для А25 – 25 мм<sup>2</sup>.

Подставляя данные в формулу (7.3), имеем:

$$R_{\phi} = 0,028 \frac{180}{25} = 0,2016 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление петли “фаза–ноль” для проводов из алюминия:  $X_{\phi} = X_n = 0$ .

Определяем активное сопротивление нулевого провода:

$$R_{\phi} = 0,028 \frac{180}{16} = 0,315 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление нулевого провода  $X_n$  находим из выражения:

$$X_n = \frac{X_n}{\ell}, \quad (7.4)$$

где  $X_n$  – удельное индуктивное сопротивление петли “фаза–ноль”, ОмЧ /км;  $\ell$  – длина воздушной линии, км

$$X_n = 0,6 \cdot 0,18 = 0,108 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление петли “фаза–ноль” воздушной проводки  $Z_{\text{возд}}$  определяем из выражения

$$Z_{\text{возд}} = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + X_n^2}. \quad (7.5)$$

Подставляя численное значение в формулу (7.5), имеем:

$$Z_{\text{возд}} = \sqrt{(0,2016 + 0,315)^2 + 0,108^2} = 0,527 \text{ Ом.}$$

Определим полное сопротивление петли “фаза–ноль” внутренней проводки:

$$R_{\phi} = 0,18 \cdot 20/10 = 0,036 \text{ Ом;}$$

$X_{\phi} = 0$  для проводки из меди.

В качестве нулевого проводника принимаем полосовую сталь размером 20г 4 мм<sup>2</sup>.

Плотность ожидаемого тока короткого замыкания в нулевом проводнике определяем из выражения

$$\delta = K_H \frac{I_{\text{НОМ}}}{S}, \quad (7.6)$$

где  $K_H$  – коэффициент запаса,  $K_H = 3$ ;  $I_{\text{НОМ}}$  – номинальный ток вставки;  $S$  – площадь сечения нулевого проводника, мм<sup>2</sup>.

Решая уравнение (7.6), получаем:

$$\delta = \frac{3 \cdot 60}{20 \cdot 4} \approx 2 \text{ А/мм}^2.$$

По [7, табл. 57] находим для полосы размером 20г 4 при  $d = 2 \text{ А/мм}^2$

$$R_{\omega,1} = \frac{1120}{2,3} - 487 \text{ Ом/км и } x_{\omega} = 1,78 \text{ Ом/км.}$$

Тогда

$$R_H = r_{\omega} \ell = 2,97 \cdot 0,02 = 0,0594 \text{ Ом;}$$

$$X_H = x_{\omega} \ell = 1,78 \cdot 0,02 = 0,0356 \text{ Ом;}$$

$$X_n = x_n \ell = 0,4 \cdot 0,02 = 0,008 \text{ Ом;}$$

$$Z_{\text{внутр}} = \sqrt{(R_{\phi} + R_H)^2 + (X_H + X_n)^2},$$

$$Z_{\text{внутр}} = \sqrt{(0,0356 + 0,0594)^2 + (0,0356 + 0,008)^2} = 0,105 \text{ Ом.}$$

Расчетный ток короткого замыкания составит:

$$I_K = \frac{U_{\phi}}{Z_{T/3} + Z_{\text{возд}} + Z_{\text{внутр}}} = \frac{220}{0,65 + 0,527 + 0,105} = 1716 \text{ А,}$$

тогда как требуется  $3 I_{\text{НОМ}} = 180 \text{ А.}$

Обеспечить эффективную работу зануления проще всего путем увеличения сечения нулевого провода до сечения фазного. При этом

$$Z_{\text{возд}} = \sqrt{(0,2016 + 0,2016)^2 + 0,108^2} = 0,417 \text{ Ом},$$

$$I_{\text{к}} = \frac{220}{0,65 + 0,417 + 0,105} = 187,7 \text{ А} > 3 \cdot 60 \text{ А}.$$

## 7.2. Молниезащита

Причиной пожара в электроустановках в ряде случаев является прямой удар молнии или ее вторичное проявление в виде электростатической и электромагнитной индукции. Прямой удар молнии возможен в оборудовании открытых распределительных устройств (ОРУ) станций и сетей, открытых повышающих и понижающих подстанций, в провода воздушных линий (ВЛ) электропередачи, в здания закрытых распределительных устройств (ЗРУ) и подстанций, в здания и сооружения вспомогательных служб (трансформаторных башен подстанций, масляного хозяйства, электролизных установок, машинных помещений генераторов и синхронных компенсаторов, резервуаров с горючими жидкостями и др.).

Для объектов I I I категории зону защиты молниеотводов типа А принимают при  $N > 2$ , а типа Б – при  $N < 2$  с учетом степени огнестойкости строительных конструкций.

Для объектов грузового хозяйства железнодорожного транспорта обычно рекомендуют стержневые и тросовые молниеотводы.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода при высоте  $h = 150$  м представляет собой конус, вершина которого находится на уровне  $h_0 < h$ . У земли зона защиты образует круг радиусом  $R_0$ .

Схема молниезащиты представлена на рис. 7.2.

Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения  $h_x$  представляет собой круг радиусом  $R_x$ . Зоны защиты одиночных молниеотводов имеют следующие габариты:

- зона типа А

$$h_0 = 0,85h : R_0 = (1,1 - 0,002h) h : R_x = (1,1 - 0,002h) (h - h_x / 0,85); \quad (7.7)$$

- зона типа Б

$$h_0 = 0,92h : R_0 = 1,5 (h - h_x / 0,92). \quad (7.8)$$

Для зоны Б высота одиночного стержневого молниеотвода при известных величинах  $h_x$  и  $R_x$  может быть определена из выражения:

$$h = \frac{R_x + 1,63 h_x}{1,5} \quad (7.9)$$

### Примеры решения задач

**Задача 7.5.** Молниезащита зарядного пункта электропогрузчиков выполнена в виде отдельно стоящего стержневого молниеотвода, представленного на схеме (рис. 7.2). Определить необходимую высоту молниеотвода для создания зоны защиты типов А и Б. Значения  $h_x$  и  $R_x$  показаны на схеме.

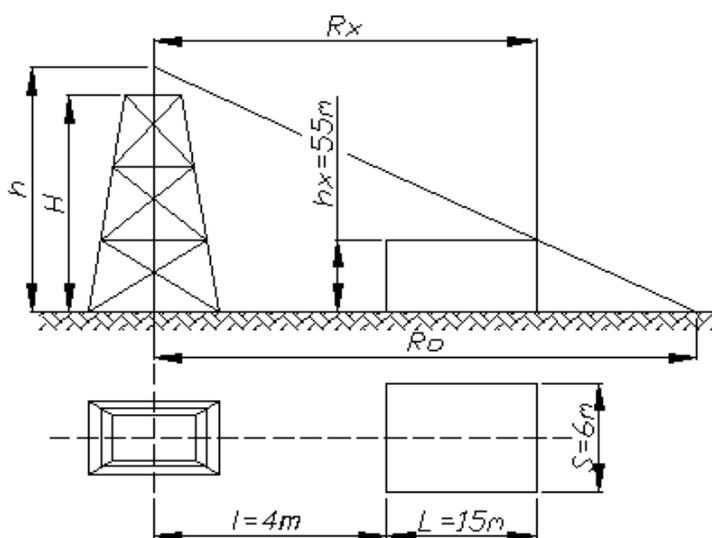


Рис. 7.2. Схема молниезащиты

**Решение.** По формуле (7.9) определяем необходимую высоту  $h$  для зоны типа Б:

$$h = \frac{(15 + 4) + 1,63 \cdot 5,5}{1,5} = 18,64 \text{ м.}$$

Ориентируясь на типовые конструкции, принимаем высоту стержневого молниеотвода  $h = 25$  м. Тогда на высоте  $h_x = 5,5$  м радиус зоны защиты типа А определяем по формуле (7.7)

$$R_x^A = (1,1 - 0,002 \cdot 25) (25 - 5,5 / 0,85) = 19,46 \text{ м} > R_x^B = 19 \text{ м.}$$

**Задача 7.6.** Грузовой прирельсовый склад хлопчатобумажных изделий имеет размеры 72г 22г 8,5м. Интенсивность грозовой деятельности  $N = 50$  ч/год. Среднее число ударов молнии на  $1 \text{ км}^2$  в год  $n = 6$ . Рассчитать зону защиты.

**Решение.** Складские помещения, содержащие твердые или волокнистые горючие вещества (дерево, ткани и т.п.), относятся к пожароопасным помещениям класса II-IIa [7]. производственные здания и сооружения с зонами класса II-IIa требуют устройства молниезащиты III категории, которая обязательна в местностях со средней интенсивностью грозовой деятельности более 20 ч в год.

Тип зоны защиты молниеотводов для объектов II и III категорий от ожидаемого числа поражений молнией в год зданий и сооружений, не имеющих молниезащиты, которое можно определить по формуле

$$N = (S + 6h_x)(L + 6h_x)n \cdot 10^{-6}, (7.10)$$

где  $S$ ,  $L$ ,  $h_x$  – соответственно ширина, длина, наибольшая высота защищаемого здания, м;  $n$  – среднее число ударов молнии в  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности в месте расположения здания.

Для объектов III категории зону защиты молниеотводов типа А принимают при  $N > 2$ , а типа Б – при  $N \leq 2$ .

Тогда

$$N = (22 + 6 \cdot 8,5)(72 + 6 \cdot 8,5)6 \cdot 10^{-6} = 0,054$$

Следовательно, необходимо предусмотреть устройство молниеотвода с зоной защиты типа Б.

### 7.3. Защита от статического электричества

Для отвода электростатических зарядов, как правило, применяют заземление. Обычно заземляют наливные стоянки эстакад для заполнения цистерн и рельсы в пределах фронта сливно-наливных операций.

Целесообразно заземляющие устройства для защиты от статического электричества объединять с защитным или молниезащитным устройствами.

Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства, предназначенного исключительно для отвода статического электричества, должно быть не больше 100 Ом. Неметаллическое оборудование считается электрически заземленным, если сопротивление любой его точки относительно контура заземления не превышает  $10^7$  Ом.

При малой емкости  $C$  сопротивление растеканию тока заземляющего устройства может быть выше  $10^7$  Ом.

### Примеры решения задач

**Задача 7.7.** Бензин со скоростью  $V = 100$  л/мин наливают в изолированную цистерну вместимостью  $M = 1000$  л. Скорость электризации бензина  $q = 1,1 \cdot 10^{-8}$  АЧ с/л. Необходимо обеспечить безопасность от возможных разрядов статического электричества.

**Решение.** Определим потенциал на цистерне к концу налива. Общий разряд (заряд), передаваемый электризованным бензином цистерне, составит

$$Q = q M, (7.11)$$

где  $q$  – заряд нефтепродукта, АЧ с/л;  $M$  – количество перекаченного продукта, л,

$$Q = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot 1000 = 11 \cdot 10^{-8} \text{ АЧ с/л.}$$

Если электрическую емкость цистерны принять равной  $10^{-9}$  Ф, то потенциал на ее корпусе к концу налива будет определяется по формуле

$$U = \frac{Q}{C}, (7.12)$$

где  $C$  – емкость цистерны, Ф,

$$U = \frac{11 \cdot 10^{-8}}{10^{-9}} = 11 \cdot 10^3 \text{ В.}$$

При данном разрядном потенциале в случае разряда энергия искры между цистерной и землей:

$$E = 0,5 C U^2 = 0,5 \cdot 10^{-9} \cdot 121 \cdot 10^6 = 60,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж,}$$

тогда как для воспламенения бензина достаточно искры с энергией [7]:

$$E_{\text{мин}} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Следовательно, потенциал на цистерне должен быть не более

$$U_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{2E_{\text{мин}}}{C}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}}{10^{-9}}} = 1350 \text{ В.}$$

Для уменьшения потенциала до допустимой величины необходимо предусмотреть заземление, величина сопротивления которого может быть определена из выражения

$$R \leq \frac{U_{\text{доп}} t}{Q} = \frac{U_{\text{доп}} M}{Q V}, \quad (7.13)$$

$$R = \frac{1,35 \cdot 10^3 \cdot 100060}{11 \cdot 10^6 \cdot 100} = 73,6 \cdot 10^9 \text{ Ом.}$$

При этом время полного разряда:

$$T = 3 R C, \quad (7.14)$$

$$T = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 73,6 \cdot 10^9 = 2208 \text{ с.}$$

Принимая во внимание, что во взрывоопасной среде постоянная времени релаксации должна быть  $t_{\text{доп}} \leq 0,001 \text{ с}$ , необходимо иметь заземляющее устройство с сопротивлением

$$\frac{R_{\text{доп}}}{C} < \tau_{\text{доп}} = \frac{0,001}{10^{-9}} = 10^6 \text{ Ом.}$$

Тогда потенциал на корпусе цистерны не превысит

$$U = \frac{QR}{t} = \frac{11 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6}{10 \cdot 60} = 1,83 \cdot 10^{-2} \text{ В,}$$

что меньше  $U_{\text{доп}}$ .

**Задача 7.8.** Определить электростатический потенциал  $\varphi$  отключенного и незаземленного провода трехфазной линии 110 кВ с горизонтальным расположением проводов.

Провода марки АС-95 ( $r = 7 \text{ мм}$  – радиус провода);  $H = 8,3 \text{ м}$  – средняя высота подвеса проводов над проводящим слоем грунта;  $d = 4 \text{ м}$  – расстояние между проводами.

**Решение.** Находим коэффициент емкости связи

$$k = \frac{\ln \frac{2H}{1,26d}}{\ln \frac{2H}{1,26d} + \ln \frac{2H}{r}} = \frac{\ln \frac{2 \cdot 8,3}{1,26 \cdot 4}}{\ln \frac{2 \cdot 8,3}{1,26 \cdot 4} + \ln \frac{2 \cdot 2,8}{7 \cdot 10^{-3}}} = 0,135$$

Определяем электростатический потенциал

$$\varphi = kU_{\phi} = 0,135 \frac{110}{\sqrt{3}} = 8,5 \text{ кВ.}$$

Полученное значение электростатического потенциала представляет собой опасность с точки зрения электропожаробезопасности. В этом случае необходимо выполнить мероприятия по обеспечению безопасности при эксплуатации воздушных линий высокого напряжения от 110 кВ и выше.

#### 7.4. Пожарная безопасность на подвижном составе

**Задача 7.9.** Определить радиус взрывоопасной зоны при аварийной разгерметизации стандартной цистерны емкостью  $54 \text{ м}^3$  с сжиженным пропаном при получении пробоины площадью  $S_0 = 25 \text{ см}^2$  и мгновенной разгерметизации цистерны (проливе всего количества пропана).

Исходные данные:

- внутренний диаметр цистерны  $D$ , м 2,5
- расчетная температура воздуха  $t_p$ , °С 20
- плотность жидкой фазы  $\rho_{ж}$ , т/м<sup>3</sup> 0,52
- нижний концентрационный предел распространения пламени  $C_{нкр}$ , % (об) 2,0
- давление в цистерне  $P$ , Па  $8 \cdot 10^5$
- плотность паров СУГ  $\rho_{п}$ , кг/м<sup>3</sup> 1,76
- молярная масса  $M_m$ , кг/кмоль 44

**Решение.** Масса газа в облаке топлива воздушной смеси при длительном истечении пропана из цистерны определяется, кг, по формуле [3]:

$$M_p = 36\rho S_0 \left[ \frac{2(P - P_a)}{\rho + 1,2qH} \right]^{1/2}, \quad (7.15)$$

где  $\rho$  – плотность жидкой фазы пропана, кг/м<sup>3</sup>;  $S_0$  – площадь сечения отверстия, м<sup>2</sup>;  $P$  – давление в цистерне, Па;  $P_a$  – атмосферное давление Па, (нормальное атмосферное составляет  $1,013 \cdot 10^5$  Па);  $q$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $H$  – высота столба жидкой фазы (диаметр котла цистерны), м.

При отсутствии данных о характеристиках цистерны и об условиях истечения пропана массу газа в облаке топлива воздушной смеси определим как  $M_p = 0,1 M$ , где  $M$  – масса топлива, содержащегося в цистерне (резервуаре), т

$$M_p = 36 \cdot 520 \cdot 0,0025 \left[ \frac{2(8 \cdot 10^5 - 1,01 \cdot 10^5)}{520 + 1,2 \cdot 9,81 \cdot 2,6} \right]^{0,5} = 2380 \text{ кг.}$$

Радиус зоны загазованности при  $S_0 = 25 \text{ см}^2$  определим по формуле

$$X_{\text{нкпр}} = 14,6 \left( \frac{M_p}{\rho C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33}, \quad (7.16)$$

где  $X_{\text{нкпр}}$  – радиус зоны загазованности, м;  $C_{\text{нкпр}}$  – нижний концентрационный предел распространения пламени, %;

$$X_{\text{нкпр}} = 14,6 \left( \frac{2360}{178 \cdot 2} \right)^{0,33} = 127,4 \text{ м.}$$

Для случая мгновенной разгерметизации цистерны и степени ее заполнения  $e = 0,9$ ; массу паров в облаке низкокипящего пропана определим как:

$$M = 0,9 \cdot 54 \cdot 0,52 = 25 \text{ т,}$$

$$M_p = 0,62 \cdot M = 0,62 \cdot 25 = 15,5$$

По формуле (7.17) определим радиус взрывоопасной зоны:

$$X_{\text{нкпр}} = 92 M_p^{0,33}, \text{ м; (7.17)}$$

$$X_{\text{нкпр}} = 92 \cdot 15,5^{0,33} = 230 \text{ м.}$$

**Задача 7.10.** Определить ожидаемую плотность теплового излучения на расстоянии  $r = 100$  м от огненного шара и оценить опасность излучения.

Исходные данные. В результате столкновения двух цистерн с пропаном произошел пожар пролива вещества. Вследствие теплового воздействия пожара пролива произошел взрыв второй цистерны с нагрузкой 24 т пропана и образованием огненного шара.

**Решение.** По формуле (7.18) определяем массу огненного шара

$$M_{\text{ш}} = 0,6 M, \quad (7.18)$$

где  $M$  – масса пропана в цистерне, т:

$$M_{\text{ш}} = 0,6 \cdot 24 = 14,4 \text{ т.}$$

Определяем по формуле (7.19) радиус огненного шара, м,

$$R_{\text{ш}} = 29 M_{\text{ш}}^{1/3}, \quad (7.19)$$

$$R_{\text{ш}} = 29 \cdot 2,4 \approx 70 \text{ м.}$$

Время существования огненного шара, с, находим из выражения

$$t_{\text{ш}} = 4,5 M_{\text{ш}}^{1/3},$$

$$t_{\text{ш}} = 4,5 \cdot 2,4 = 10,8 \text{ с.}$$

Определим  $j$  – коэффициент облученности между факелом пламени и элементарной площадкой на поверхности облучаемого объекта при  $r_{\text{п}} = R_{\text{ш}} = 70$  м и  $r = 100$  м [3] по формуле

$$\varphi = \frac{R_{\text{ш}}^2 r}{(R_{\text{ш}}^2 + r^2)^{1,5} [1 - 0,58 \ln(r)]}, \quad (7.20)$$

$$\varphi = \frac{70^2}{(70^2 + 100^2)^{1,5} [1 - 0,58 \ln(100)]} = 0,197.$$

Среднеповерхностная плотность теплового излучения факела пламени  $E = 200 \text{ кВт/м}^2$  [3].

Определяем величину плотности теплового излучения  $q$  на заданном расстоянии по формуле

$$X_{\Phi} = 0, \quad (7.21)$$

$$q = 200 \cdot 0,197 = 39 \text{ кВт/м}^2.$$

В соответствии с [3] данное значение плотности теплового излучения при времени облучения 10,8 с не вызывает воспламенения горючих материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ССБТ ГОСТ 12.1.018-86. Пожарная безопасность. Электростатическая искробезопасность. Общие требования.
2. Правила устройства электроустановок/ Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1999.
3. Руководство по определению зон воздействия опасных факторов аварий с сжиженными газами, горючими жидкостями и аварийно химически опасными веществами на объектах железнодорожного транспорта. Введено в действие Указанием МПС России от 24.11.97 г. НГ-1362у. Вып. по заказу МПС РФ (С), 1997.
4. Охрана труда в строительстве. Инженерные решения: Справочник / В.И. Русин, Г.Г. Орлов, Н.М. Неделько и др. – К.: Будивэллык, 1990.
5. Пелевин, Б.В. Предупреждение пожаров от электроустановок на промышленных предприятиях / Б.В. Пелевин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982.
6. Ревякин, А.И. Электробезопасность и противопожарная защита в электроустановках / А.И. Ревякин, Б.И. Кашолкин. – М.: Энергия, 1980.
7. Охрана труда в грузовом хозяйстве железных дорог (с примерами решения задач) / В.И. Бекасов, Н.Е. Лысенко, В.А. Муратов и др. – М.: Транспорт, 1984.
8. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты здания и сооружений. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
9. Кашолкин, Б.И. Тушение пожаров в электроустановках / Б.И. Кашолкин, Е.А. Мешалкин. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
10. Организация и тактика тушения пожаров в подвижном составе железнодорожного транспорта / Рекомендации. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1987.

## 8. Защита в чрезвычайных ситуациях

Ежедневно по железным дорогам России перевозятся тысячи тонн опасных грузов. Это сильнодействующие ядовитые, взрывчатые и пожаро- и взрывоопасные вещества.

При крушениях, сходах поездов наличие этих веществ может создавать чрезвычайные ситуации (ЧС).

Кроме того, опасные вещества могут располагаться стационарно на объектах железнодорожного транспорта, или сами железнодорожные объекты располагаться вблизи места нахождения опасных объектов.

В результате крушения поездов, других видах аварий при разгерметизации емкостей с сильнодействующими ядовитыми веществами могут образовываться зоны химического заражения, которые, распространяясь на объекты железнодорожного транспорта, вызывают поражения людей.

Чрезвычайные ситуации, вызванные взрывами, пожарами, приводят к поражению людей, уничтожению материальных ценностей, перерывам в движении поездов.

Умение прогнозировать возможную обстановку в таких случаях необходимо руководителю любого ранга. Для принятия оперативных мер по ликвидации чрезвычайных ситуаций, защите рабочих и служащих объектов железнодорожного транспорта и материальных ценностей, оценки степени защиты нужны знания по возможному развитию ЧС, которые приобретаются в результате решения задач.

### Примеры решения задач

**Задача 8.1.** При аварии на городских водозаборных сооружениях произошел выброс хлора. Оценить химическую обстановку на территории локомотивного депо, если количество хлора, участвующего в аварии,  $Q_0 = 10$  т; разлив в поддон, высота поддона  $H = 0,8$  м; скорость ветра в момент аварии  $V = 2$  м/с; температура воздуха  $t = 20$  ° С; время суток–день; состояние погоды–пасмурно; расстояние от места аварии до депо  $X = 1,5$  км; количество работающих в смене человек – 175, все работающие находятся в зданиях, средствами индивидуальной защиты не обеспечены.

**Решение.** Определяем эквивалентное количество вещества в первичном облаке,  $Q_{э1}$ , по формуле

$$Q_{э1} = K_1 K_3 K_5 K_7 Q_0, (8.1)$$

где  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условия хранения сильнодействующего ядовитого вещества (СДЯВ) прил. 1, табл. 1;  $K_3$  – коэффициент, равный отношению поражающей токсодозы хлора, к поражающей токсодозе другого СДЯВ, участвующего в аварии, прил. 1, табл. 1;  $K_5$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха, принимаемый равным для инверсии 1, конвекции – 0,08, изотермии – 0,23 (степень вертикальной устойчивости воздуха находится по прил. 1, табл. 2 в зависимости от скорости ветра, состояния погоды и времени суток);  $K_7$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха, прил. 1, табл. 1;  $Q_0$  – количество вещества, участвующего в аварии, т,

$$Q_{з1} = 0,18; 1 \cdot 0,23 \cdot 0,6 \cdot 10 = 0,25.$$

Находим время действия зоны по формуле

$$T = \frac{hd}{K_2 K_4 K_7}, \quad (8.2)$$

где  $K_2$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств СДЯВ (прил. 1 табл. 1);  $K_4$  – коэффициент, учитывающий скорость ветра (прил. 1 табл. 3);  $d$  – удельный вес СДЯВ, т/м<sup>3</sup> (прил. 1 табл. 1);  $h$  – толщина слоя СДЯВ, м, которая находится по формуле

$$h = H - 0,2, \quad (8.3)$$

где  $H$  – высота поддона, м,

$$h = 0,8 - 0,2 = 0,6 \text{ м.}$$

$$T = \frac{0,6 \cdot 1,553}{0,052 \cdot 1,33 \cdot 1} = 13,56 \text{ мин.}$$

Определяем эквивалентное количество хлора во вторичном облаке по формуле

$$Q_{з2} = (1 - K_1) K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 \frac{Q}{hd}, \quad (8.4)$$

где  $K_6$  – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии  $N$  (прил. 1 табл. 4);

$$Q_{з2} = (1 - 0,18) 0,052 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \frac{10}{0,6 \cdot 1,553} = 0,14 \text{ т.}$$

Находим глубину зоны заражения от первичного и вторичного облака, пользуясь прил. 1, табл. 5 и интерполируя:

$$\Gamma_1 = 0,84 + \left( \frac{1,92 - 0,84}{0,5 - 0,1} 0,15 \right) = 1,25 \text{ км};$$

$$\Gamma_2 = 0,84 + \left( \frac{1,92 - 0,84}{0,5 - 0,1} 0,04 \right) = 0,94 \text{ км.}$$

Определяем полную глубину зоны заражения  $\Gamma$ , км, по формуле

$$\Gamma = \Gamma_1' + 0,5 \Gamma_2'' \text{, (8.5)}$$

где  $\Gamma_1'$ ,  $\Gamma_2''$  – наибольший и наименьший из размеров глубины зоны по первичному или по вторичному облаку:

$$\Gamma = 1,25 + 0,5 \cdot 0,94 = 1,72 \text{ км.}$$

Вычерчиваем схему объекта и наносим на нее зону заражения (рис. 8.1).

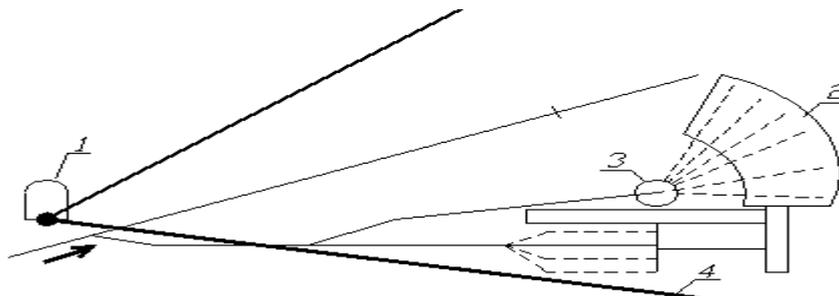


Рис. 8.1. Схема распространения зоны химического заражения:

1 – место аварии; 2 – здания локомотивного депо; 3 – поворотный круг; 4 – границы зоны заражения

При скорости ветра от 1 до 2 м/с зона заражения имеет вид сектора с углом  $90^\circ$ .

Как видно из схемы, вся территория локомотивного депо окажется в зоне химического заражения.

Вероятные потери среди работающих в смене определяем по прил. 1 табл. 6:

$$170 \cdot 0,5 = 85 \text{ чел.};$$

– из них получают легкую степень поражения:

$$85 \cdot 0,25 = 21_{\text{чел.}}$$

– поражения средней тяжести (госпитализация на 2j 3 месяца):

$$85 \cdot 0,40 = 34_{\text{чел.}}$$

– поражения с летальным исходом:

$$85 \cdot 0,35 = 30_{\text{чел.}}$$

Локомотивное депо в результате аварии со СДЯВ понесет значительные людские потери, что снизит его производительную мощь, поэтому необходимо разработать и осуществить мероприятия по снижению потерь.

**Задача 8.2.** При крушении железнодорожного состава произошло разрушение цистерны с жидким хлором, находящимся под давлением. Определить зону возможного заражения хлором, если в цистерне находилось 40 т хлора; состояние погоды – изотермия; скорость ветра – 5 м/с; температура воздуха – 0 °С; разлив хлора на подстилающей поверхности – свободный.

**Решение.** Определяем эквивалентное количество вещества в первичном облаке по формуле (8.1):

$$Q_{\text{з1}} = 0,18 \cdot 1 \cdot 0,23 \cdot 0,6 \cdot 40 = 1_{\text{т}}$$

По формуле (8.4) определяем эквивалентное количество вещества во вторичном облаке, учитывая, что при свободном разливе  $h = 0,05$  м, время, прошедшее после аварии, 1 ч:

$$Q_{\text{з2}} = (1 - 0,18) 0,052 \cdot 1 \cdot 2,34 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \frac{40}{0,05 \cdot 1,553} = 11,82_{\text{т}}$$

Находим глубину зоны возможного заражения  $\Gamma_1$  первичного и  $\Gamma_2$  вторичного облака, пользуясь прил. 1 табл. 5 и интерполируя:

$$\Gamma_1 = 1,53_{\text{км}}$$

$$\Gamma_2 = 5,53 + \left( \frac{8,19 - 5,53}{20 - 10} 1,82 \right) = 6,0_{\text{км}}$$

Определяем полную возможную глубину зоны заражения  $\Gamma$  по формуле (8.5)

$$\Gamma = 6 + 0,5 \cdot 1,53 = 6,76_{\text{км}}$$

**Задача 8.3.** При аварии на мясокомбинате произошел выброс аммиака. Облако зараженного воздуха двинулось в сторону ПЧ.

Определить химическую обстановку на территории ПЧ, если количество аммиака, участвующего в аварии,  $Q_0 = 35$  т; разлив свободный; температура воздуха на момент аварии  $+20$  °С; время суток – вечер; состояние погоды – ясно; расстояние от места аварии до территории ПЧ  $x = 3$  км; количество людей на территории ПЧ 45 чел., в т.ч. находящихся в здании – 40 чел., вне зданий – 5 чел.; скорость движения воздуха  $V = 3$  м/с.

**Решение.** По формуле (8.1) определяем эквивалентное количество вещества в первичном облаке:

$$Q_{з1} = 0,18 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 35 = 0,25 \text{ т.}$$

По формуле (8.4) определяем эквивалентное количество вещества во вторичном облаке:

$$Q_{з2} = (1 - 0,18)0,025 \cdot 0,04 \cdot 1,67 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \frac{35}{0,05 \cdot 0,681} = 14 \text{ т.}$$

Пользуясь прил. 1 табл. 5 находим глубину зоны заражения от первичного  $\Gamma_1$  и вторичного  $\Gamma_2$  облака при помощи интерполяции:

$$\Gamma_1 = 0,68 + \left( \frac{1,53 - 0,68}{0,5 - 0,1} 0,15 \right) = 10 \text{ км;}$$

$$\Gamma_2 = 7,96 + \left( \frac{11,94 - 7,96}{20 - 10} 4 \right) = 9,56 \text{ км.}$$

По формуле (8.5) определяем полную глубину  $\Gamma$  зоны заражения:

$$\Gamma = 9,56 + 0,5 \cdot 1 = 10,06 \text{ км.}$$

По формуле (8.2) определяем время действия зоны заражения:

$$T = \frac{0,05 \cdot 0,681}{0,025 \cdot 1,67 \cdot 1} = 0,8 \text{ ч}$$

Рассчитываем время подхода облака зараженного воздуха, ч, к территории ПЧ по формуле

$$t = \frac{x}{V}, (8.6)$$

где  $x$  – расстояние от места аварии до объекта, м;  $V$  – скорость движения воздуха:

$$t = \frac{3000}{3 \cdot 3600} = 0,27 \text{ ч.}$$

Пользуясь прил. 1 табл. 6, определяем возможные потери среди находящихся в зданиях:

$$40 \cdot 0,5 = 20 \text{ чел.}$$

Из них получают

- легкую степень поражения (требуется оказание медицинской помощи без стационарного лечения):

$$20 \cdot 0,25 = 5 \text{ чел.};$$

- поражения средней тяжести с госпитализацией 2j 3 недели:

$$20 \cdot 0,40 = 8 \text{ чел.};$$

- поражения со смертельным исходом:

$$20 \cdot 0,35 = 7 \text{ чел.}$$

Для снижения потерь необходимо выполнить мероприятия по защите работающих.

**Задача 8.4.** При крушении железнодорожного состава разрушилось несколько цистерн, в которых находилось: хлора – 30 т, аммиака – 60 т, соляной кислоты – 30 т.

Определить глубину зоны химического заражения, если скорость ветра на момент аварии  $V = 5$  м/с; изотермия; время, прошедшее после аварии 4 часа, температура воздуха  $0^\circ \text{C}$ .

**Решение.** По формуле (8.2) определяем время испарения СДЯВ:

- для хлора

$$T = \frac{0,05 \cdot 1,533}{0,052 \cdot 2,34 \cdot 1} = 0,64 \text{ ч};$$

- для аммиака

$$T = \frac{0,05 \cdot 0,681}{0,025 \cdot 2,34 \cdot 1} = 0,58 \text{ ч}.$$

- для соляной кислоты

$$T = \frac{0,05 \cdot 1,198}{0,025 \cdot 2,34 \cdot 0,3} = 4,1 \text{ ч}.$$

Определяем эквивалентное количество вещества, т,

$$Q_3 = 20 K_4 K_5 \sum_{i=1} K_{2i} K_{3i} K_{6i} K_{7i} \frac{Q_i}{d_i}, \quad (8.7)$$

$$Q_3 = 20 \cdot 2,34 \cdot 0,23 \left[ 0,052 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{30}{1,553} + 0,025 \cdot 0,04 \cdot 3,03 \cdot 1 \cdot \frac{60}{0,681} + 0,021 \cdot 0,30 \cdot 3,03 \cdot 0,3 \cdot \frac{30}{1,198} \right] = 36 \text{ т.}$$

Пользуясь прил. 1 табл. 5 находим интерполяцией глубину зоны заражения:

$$\Gamma = 10,33 + \left( \frac{13,88 - 10,33}{50 - 30} 6 \right) = 11,4 \text{ км.}$$

**Задача 8.5.** Определить вероятный характер разрушения элементов локомотивного депо при взрыве горюче-воздушной смеси (ГВС) на складе дизельного топлива, если масса топлива на складе  $Q_0$ -200 т; расстояние до 1-го стойла – 350 м; до 2-го стойла – 280 м; до здания пескосушки – 500 м; до локомотива, стоящего перед 1-м стойлом, – 520 м.

Характеристика элементов объекта: здание пескосушки – из сборного железобетона, здания стойл для локомотивов – каркасные шлакобетонные.

**Решение.** Рассчитаем расстояния для различного избыточного давления, пользуясь законом подобия взрывов:

$$\frac{R_{и}}{R_{х}} = \sqrt[3]{\frac{Q_{и}}{Q_0}}, \quad (8.8)$$

где  $R_{и}$  – известные расстояния при взрыве ГВС от 1000 т дизельного топлива (прил. 2 табл. 1);  $R_x$  – неизвестное расстояние при заданном количестве топлива, м;  $Q_{и}$  – топливо массой 1000 т;  $Q_о$  – количество топлива на складе, т.

Находим постоянную величину правой части уравнения закона подобия взрывов:

$$\sqrt[3]{\frac{1000}{200}} = 1,71.$$

Определяем расстояния для избыточных давлений  $D P_{ф}$  соответственно для 3,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,3; 0,2; 0,1 кгс/см<sup>2</sup> при взрыве ГВС от 200 т дизельного топлива:

$$R_3 = \frac{320}{1,71} = 187 \text{ м,}$$

$$R_2 = \frac{380}{1,71} = 222 \text{ м,}$$

$$R_1 = \frac{520}{1,71} = 304 \text{ м,}$$

$$R_{0,5} = \frac{760}{1,71} = 444 \text{ м,}$$

$$R_{0,3} = \frac{1040}{1,71} = 608 \text{ м,}$$

$$R_{0,2} = \frac{1340}{1,71} = 783 \text{ м,}$$

$$R_{0,1} = \frac{1920}{1,71} = 1122 \text{ м.}$$

Построим изолинию избыточного давления при взрыве ГВС от 200 т дизельного топлива (рис. 8.2).

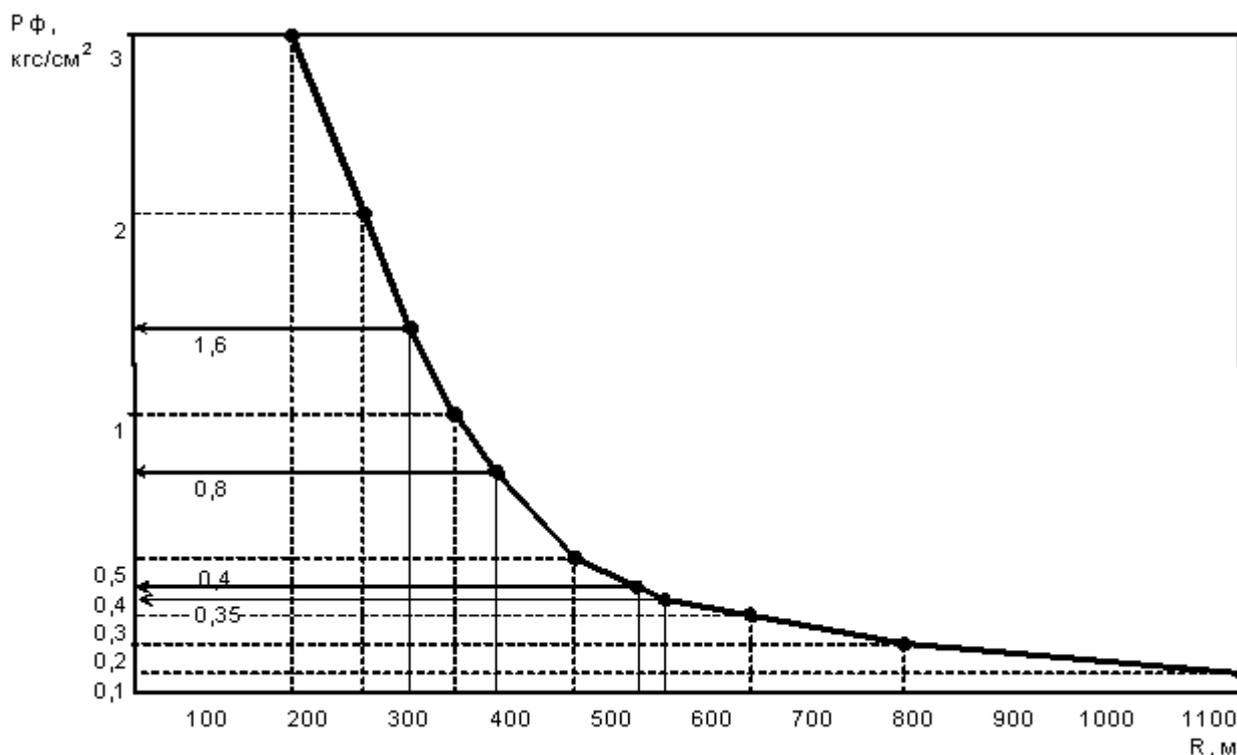


Рис. 8.2. Изолиния избыточного давления при взрыве ГСМ от 200 т дизельного топлива

По расстоянию от места расположения склада ГСМ до элементов объекта определяем избыточное давление, воздействующее на элемент объекта:

- на стойло №1 воздействует  $D P_{\phi} = 0,8 \text{ кгс/см}^2$ ;
- на стойло №2 –  $1,6 \text{ кгс/см}^2$ ;
- на здание пескосушилки –  $0,4 \text{ кгс/см}^2$ ;
- на локомотив –  $0,35 \text{ кгс/см}^2$ .

Согласно прил. 2 табл. 2 здания стойл №1 и №2 будут разрушены полностью, здание пескосушилки получит средние разрушения, локомотив повреждений не получит.

Возможными мероприятиями по снижению степени разрушения могут быть:

- уменьшение количества топлива на складе;
- обвалование склада ГСМ;
- увеличение расстояния между складом и сооружениями локомотивного депо.

**Задача 8.6.** Определить вероятный характер разрушения зданий, сооружений железнодорожной станции и потери среди работников при случайном взрыве разрядных грузов во время их выгрузки, если количество взрывчатых веществ (ВВ) на выгрузочной площадке  $Q_0 = 80 \text{ т}$ ; здание поста ЭЦ 2-этажное кирпичное, расположено на расстоянии 700 м от выгрузочной

площадки, контактная сеть – на расстоянии 400 м, подвижной состав (вагоны) – на расстоянии 400 м.

**Решение.** По формуле (8.8) рассчитаем расстояния для различного избыточного давления:

В формуле (8.8)  $R_{и}$  – известные расстояния при взрыве ВВ от 1000 т (прил. 2 табл. 3);  $R_x$  – неизвестные расстояния при взрыве 80 т ВВ;  $Q_{и}$  – ВВ массой 1000 т;  $Q_0$  – количество ВВ на складе.

Находим постоянную величину правой части уравнения закона подобия взрывов:

$$\sqrt[3]{\frac{Q_{и}}{Q_0}} = \sqrt[3]{\frac{1000}{80}} = 2,3.$$

Определяем расстояния для избыточных давлений  $D P_{ф}$  соответственно 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,8; 1,0 кгс/см<sup>2</sup>:

$$R_{0,1} = \frac{1120}{2,3} = 487 \text{ м,}$$

$$R_{0,2} = \frac{690}{2,3} = 300 \text{ м,}$$

$$R_{0,3} = \frac{540}{2,3} = 234 \text{ м,}$$

$$R_{0,4} = \frac{440}{2,3} = 191 \text{ м,}$$

$$R_{0,5} = \frac{400}{2,3} = 174 \text{ м,}$$

$$R_{0,8} = \frac{320}{2,3} = 139 \text{ м,}$$

$$R_{1,0} = \frac{280}{2,3} = 122 \text{ м.}$$

Построим изолинию избыточного давления при взрыве ВВ массой 80 т (рис. 8.3).

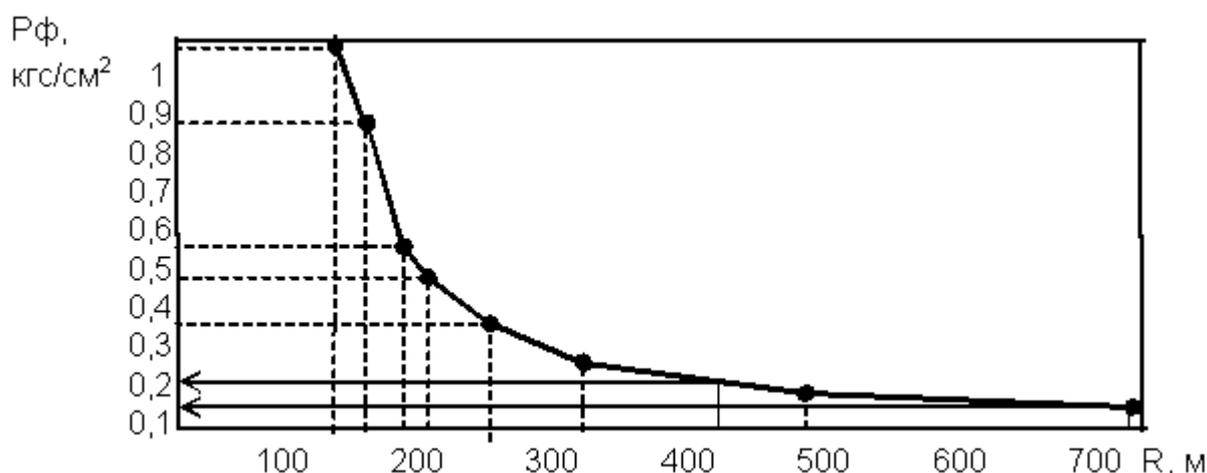


Рис. 8.3. Изолиния избыточного давления при взрыве ВВ массой 80 т

По расстоянию от места расположения выгрузочной площадки до различных сооружений железнодорожной станции определяем избыточное давление, воздействующее на сооружения:

- здания поста ЭЦ  $D P_{\phi} = 0,07 \text{ кгс/см}^2$ ;
- контактную сеть  $D P_{\phi} = 0,12 \text{ кгс/см}^2$ ;
- подвижной состав  $D P_{\phi} = 0,12 \text{ кгс/см}^2$ .

Согласно прил. 2 табл. 2 подвижной состав, контактная сеть и здания ЭЦ повреждений не получают.

Выгрузочно-погрузочные площадки должны располагаться на безопасном расстоянии.

**Задача 8.7.** Рассчитать коэффициент защиты помещения, приспособленного под противорадиационное укрытие (ПРУ), расположенное в одноэтажном здании, если длина помещения  $\ell - 12 \text{ м}$ ; ширина помещения  $b = 6 \text{ м}$ ; ширина здания  $B = 6 \text{ м}$ ; вес  $1 \text{ м}^2$  наружных стен  $q_{\text{ст}} = 800 \text{ кгс/м}^2$ ; высота помещения  $h = 3 \text{ м}$ ; площадь оконных проемов 1-го этажа  $S_o = 2,4 \text{ м}^2$ ; расстояние от пола 1-го этажа до оконного проема составляет  $1,5 \text{ м}$ ; ширина возможного зараженного участка, примыкающего к зданию,  $D = 40 \text{ м}$ ; вес  $1 \text{ м}^2$  перекрытия подвала  $q_{\text{п}} = 700 \text{ кгс/м}^2$ ; сумма плоских углов с вершинами в центре помещения, напротив которых расположены стены с суммарным весом менее  $1000 \text{ кгс/м}^2$ ,  $\alpha = 40^\circ$ .

**Решение.** Определяем коэффициент защиты по формуле

$$K_3 = \frac{0,65 K_1 K_{\text{ст}} K_{\text{пер}}}{V_1 K_{\text{ст}} K_1 + (1 - K_{\text{ш}}) (K_o K_{\text{ст}} + 1) K_{\text{пер}} K_m}, \quad (8.9)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий долю радиации, проникающей через наружные и внутренние стены, определяемый делением угла полного возможного фронта проникновения ( $360^\circ$ ) на сумму плоских углов, напротив которых расположена стена с суммарным весом менее  $1000 \text{ кгс/м}^2$ ,

$$K_1 = \frac{360}{\sum \alpha_j}, \quad (8.10)$$

где  $\alpha_j$  – плоский угол, градус, с вершиной в центре помещения, напротив которой расположена  $j$ -я стена укрытия (рис. 8.4).

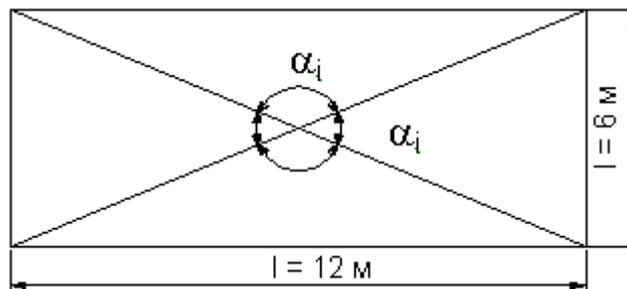


Рис. 8.4. Схема ПРУ для определения коэффициента  $K_1$

Величина угла находится через тангенс, определяемый по длине и ширине помещения,

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{l}{b}; \quad (8.11)$$

где  $K_{\text{ст}}$  – кратность ослабления стенами первичного излучения в зависимости от суммарного веса ограждающих конструкций, определяется по прил. 3 табл. 1;  $K_{\text{пер}}$  – кратность ослабления первичного излучения перекрытием, определяется по прил. 3 табл. 1;  $K_{\text{ш}}$  – коэффициент, зависящий от ширины здания, который принимается по прил. 3 табл. 2;  $K_0$  – коэффициент, учитывающий проникновение в помещение вторичного излучения, принимается 0,8 а при расположении низа оконного проема в наружных стенах на высоте от пола 1 м, 0,15 а – при 1,5 м и 0,09 – при 2 м и более;  $K_{\text{м}}$  – коэффициент, учитывающий снижение дозы радиации в зданиях, расположенных в зоне застройки, от экранирующего действия соседних строений, принимаемый по прил. 3 табл. 3; при этом

$$\alpha = \frac{S_0}{S_{\text{п}}}, \quad (8.12)$$

где  $S_0$  – площадь не заложенных оконных и дверных проемов;  $S_{\text{п}}$  – площадь пола укрытия.

Тогда

$$\frac{L}{B} = \frac{16}{8} = 2, \quad j = 1;$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{2}{6} = 0,5; \quad \operatorname{tg} 0,5 = 20^\circ; \quad \alpha = 40^\circ;$$

$$K_1 = \frac{360}{40} = 9; \quad K_{\text{ст}} = 250; \quad K_{\text{пер}} = 70.$$

Коэффициент  $V_1$  определяется по прил. 3 табл. 2

$$V_1 = 0,04;$$

$$\alpha = \frac{2,4}{12} = 0,2;$$

$$K_0 = 0,15 \cdot 0,2 = 0,03;$$

$$K_M = 0,04;$$

$$K_{\text{ш}} = 0,8;$$

$$K_3 = \frac{0,65 \cdot 9 \cdot 250 \cdot 70}{0,04 \cdot 250 \cdot 9 + (1 - 0,04)(0,03 \cdot 250 + 1)70 \cdot 0,8} = 187.$$

Выбранное помещение снизит дозу возможного облучения в 187 раз.

**Задача 8.8.** Рассчитать коэффициент защиты помещения административного здания вагонного депо, которое при необходимости используется под противорадиационное укрытие, если помещение находится в цокольном этаже; длина помещения  $\ell = 12$  м; ширина помещения  $b = 6$  м; ширина здания  $B = 14$  м; вес  $1 \text{ м}^2$  наружных стен  $q_{\text{ст}} = 900 \text{ кгс/см}^2$ ; высота помещения  $h = 3$  м; площадь оконных проемов 1-го этажа  $S_0 = 12 \text{ м}^2$ ; расстояние от пола 1-го этажа до оконного проема  $h_0 = 1$  м; ширина зараженного участка, примыкающего к зданию,  $D = 40$  м; вес  $1 \text{ м}^2$  перекрытия подвала  $q_{\text{п}} = 500 \text{ кгс/м}^2$ .

**Решение.** Определяем коэффициент защиты по формуле

$$K_3 = \frac{0,77 K_1 K_{\text{ст}} K_{\text{п}}}{(1 - K_{\text{ш}})[(K_0 K_{\text{ст}} + 1) + K_{\text{п}} (K_0 K_{\text{ст}} + 1)] K_M},$$

$$K_3 = \frac{0,77 \cdot 9 \cdot 250 \cdot 60}{(1 - 0,24) [(0,03 \cdot 250 + 1) + 60 (0,03 \cdot 250 + 1)] 0,8} = 250.$$

Цокольное помещение административного здания вагонного депо имеет коэффициент защиты 250.

**Задача 8.9.** Определить характер разрушений и вероятность возникновения завалов в районе землетрясения силой 10 баллов при плотности застройки 40 %, этажности 6–8, ширине улиц 20 м.

**Решение.** По прил. 4 табл. 1 определяем, что воздействие землетрясения силой 10 баллов эквивалентно воздействию избыточного давления 50 кПа, что характеризует зону сильных разрушений.

По прил. 2 табл. 2 определяем степень разрушения зданий многоэтажных из сборного железобетона. Здания получают сильные разрушения.

По прил. 4 табл. 2 определяем, что высота завалов может составлять до 4 м.

**Задача 8.10.** Определить характер разрушений и вероятность возникновения завалов в районе воздействия урагана при скорости ветра до 60 м/с.

**Решение.** По прил. 4 табл. 1 определяем, что ветровая нагрузка урагана такой силы эквивалента воздействию избыточного давления 50 кПа.

По прил. 2 табл. 2 определяем, что здания кирпичные малоэтажные получают сильные разрушения, трансформаторные подстанции – средние, контрольно-измерительная аппаратура разрушится полностью, железнодорожный путь разрушений не получит, у подвижного состава возможны слабые разрушения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрпольский, И.И. Гражданская оборона на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / И.И. Юрпольский, Г.Т. Ильин, Н.Н. Янченков; Под ред. И.И. Юрпольского. – М.: Транспорт, 1987.
2. Журавлев, В.П. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие / В.П. Журавлев, С.Л. Пушенко, А.М. Яковлев. – М.: Изд-во АСВ, 1999.
3. Трушкин, В.П. Прогнозирование и оценка масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при аварии на химически

опасных объектах и транспорте: Методические указания / В.П. Трушкин. – Хабаровск: ДВГУПС, 1996.

4. Трушкин, В.П. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие / В.П. Трушкин. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2002.

## 9. Радиационная безопасность

В связи с широким использованием атомной энергии, радиоактивных источников, наличием у ряда стран атомного оружия увеличивается число людей, которые могут подвергнуться воздействию ионизирующего излучения, поэтому актуальной становится задача обеспечения радиационной безопасности персонала на предприятиях и учреждениях, где ведутся работы с радиоактивными веществами, их перевозка и хранение. Не менее актуальна задача прогнозирования радиационной обстановки в случае применения оружия массового поражения (ОМП) для оценки степени поражения населения и выработки решений для его защиты.

Для того чтобы исключить вредное воздействие ионизирующего излучения на организм человека, необходима особая дисциплина, специальная организация работ, умение действовать в условиях радиоактивного заражения, эффективная система коллективной и индивидуальной защиты.

В данном разделе, на примере решения ряда задач показаны меры защиты, способы прогнозирования и оценки радиационной обстановки, которые позволяют снизить степень воздействия радиоактивного облучения на персонал и население.

### Примеры решения задач

**Задача 9.1.** Определить толщину свинцового экрана для защиты оператора от гамма-излучения радиоактивного вещества, если гамма-эквивалент радиоактивного вещества 84 мГч экв.Ра; расстояние от источника до рабочего места 0,6 м; продолжительность работы с источником 24 часа в неделю; энергия гамма-излучения 1,25 МэВ.

**Решение.** В соответствии с НРБ 76/87 [1, табл. 5.1] оператор относится к группе А облучаемых лиц, эффективная доза для которых  $D_{эфф}$  не должна превышать 50 мЗв. в год. При равномерном облучении  $D_{эфф}$  за одну неделю составляет:

$$D_{эфф.н} = \frac{D_{эфф.г}}{52}, \quad (9.1)$$

где 52 – количество недель в году,

$$D_{\text{эфф.н}} = \frac{50}{52} = 0,96 \text{ мЗв.}$$

Предельно допустимая проектная мощность дозы при продолжительности работы 24 часа в неделю:

$$P_{\text{н}} = \frac{D_{\text{эфф.н}}}{t}, \quad (9.2)$$

$$P_{\text{н}} = \frac{0,96}{24} = 0,04 \text{ мЗв/ч.}$$

Доза, которую получит оператор без защиты:

$$D_{\text{н}} = \frac{8,4 \text{ Мт}}{R^2}, \quad (9.3)$$

где R – расстояние от источника излучения до рабочего места, см,

$$D_{\text{н}} = \frac{8,4 \cdot 84 \cdot 24}{60^2} = 4,704 \text{ Р.}$$

Так как по условиям задачи облучение оператора происходит гамма-излучением, то экспозиционная доза равна эффективной дозе и составит 47 мЗв.

Поскольку эффективная доза за неделю не должна превышать 0,96 мЗв, а эффективная доза оператора, работающего без защиты, составит 47 мЗв, отсюда рассчитываем кратность ослабления:

$$K = \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{эфф.н}}}, \quad (9.4)$$

$$K = \frac{47}{0,96} = 49 \approx 50 \text{ рад.}$$

По [3, табл. 5.8] выбираем толщину защитного экрана 7,2 см.

**Задача 9.2.** Для нейтрализации статических зарядов на мониторе и системном блоке персонального компьютера используют  $\beta$ -источник. Рассчитать линейный пробег  $\beta$ -частиц в воздухе и определить толщину защитного экрана, если максимальная энергия  $\beta$ -частиц 3 МэВ; защитный материал – железо.

**Решение.** Линейный пробег  $b$  -частиц, см, в воздухе определяем по формуле

$$R_{\text{возд}} = 400 E_{\beta}, \quad (9.5)$$

где  $E_{\beta}$  – максимальная энергия  $b$  -частиц, МэВ,

$$R_{\text{возд}} = 400 \cdot 3 = 1200 \text{ см.}$$

Толщину защитного экрана определяем из выражения

$$d = 0,54 E_{\beta} - 0,16, \quad (9.6)$$

где  $d$  – толщина защиты, г/см<sup>2</sup>,

$$d = 0,54 \cdot 3 - 0,16 = 1,42 \text{ г/см}^2.$$

Если известна толщина защиты,  $d$ , выраженная в единицах массы, приходящаяся на 1 см<sup>2</sup>, то толщина защитного экрана, выраженная в единицах длины, рассчитывается по зависимости

$$d_c = \frac{d}{\rho}, \quad (9.7)$$

где  $\rho$  – плотность железа, г/см<sup>3</sup>,

$$d_c = \frac{1,42}{7,88} = 0,18 \text{ см.}$$

Слой железа толщиной 0,18 см обеспечит безопасную работу оператора компьютера.

**Задача 9.3.** Для контроля качества швов применяется гамма-дефектоскоп ГУП–С5–2–1. Определить допустимый объем работы дефектоскописта, если согласно [1] предельно допустимая доза внешнего облучения составляет 5 бэр в год, что соответствует 100 мбэр в неделю или 17 мбэр в день при шестидневной рабочей неделе.

**Решение.** Предельно допустимую дозу облучения дефектоскописта в течение дня определяем из равенства

$$D = 2D_{\text{уст}} + n(D_{\text{пр}} + 2D_{\text{тр}}), \quad (9.8)$$

где  $D$  – допустимая доза облучения дефектоскописта по [1], мбэр/дн;  $D_{\text{уст}}$  – доза облучения, полученная им при выполнении работы при транспортировке

дефектоскопа к месту работы и установке его, цифра 2 показывает, что эта работа проводится дважды (в начале смены и в конце). По данным исследования  $D_{уст} = 2,05$  мР;  $n$  – количество сварочных стыков при просвечивании;  $D_{пр}$  – доза облучения дефектоскописта при подготовке к просвечиванию и просвечиваний стыков ( $D_{пр} = 0,36$  мР);  $D_{тр}$  – доза облучения при транспортировке дефектоскопа к следующему сварному шву ( $D_{тр} = 0,01$  мР).

Подставляя известные данные в равенство (9.8), получим:

$$17 = 2 \cdot 2,05 + n(0,36 + 2 \cdot 0,01) = 4,1 + n \cdot 0,38.$$

Отсюда

$$n = \frac{17 - 4,1}{0,38} = 34 \text{ шт.}$$

Дефектоскопист не получит облучения выше установленной нормы, если в день будет обследовать не более 34 стыков.

**Задача 9.4.** Определить безопасное расстояние  $R$ , на котором может находиться оператор, проводящий измерения плотности бетона при отсутствии экрана, и толщину защитного экрана, если источник излучения – нейтронный; мощность источника  $10^6$  нейтр/с; энергия нейтронов 5 МэВ; защитный материал – бетон, слой половинного ослабления которого 16 см; при наличии защиты оператор находится на удалении 0,5 м от источника; рабочая неделя – стандартная; облучение проходит параллельным пучком.

**Решение.** По [1, табл. 5.1] определяем, что оператор относится к персоналу категории А. В соответствии с [1, табл. 10.6] предельно допустимая плотность потока нейтронов  $j_0 = 10$  аст/(см<sup>2</sup>с).

Находим безопасное расстояние, на котором может находиться оператор, имея ввиду, что

$$\varphi_{0(R)} = \frac{\varphi_{п(R)}}{4\pi R^2}. \quad (9.9)$$

Из выражения (9.9) безопасное расстояние  $R$  будет определяться по формуле

$$R = \sqrt{\frac{\varphi_{п(R)}}{4\pi\varphi_{0(R)}}}, \quad (9.10)$$

где  $\varphi_{n(R)}$  – плотность потока нейтронов при наличии защиты на удалении  $R$  от источника, определяемая по формуле

$$\varphi_{n(R)} = \frac{\varphi_{0(R)}}{2^{h/d}}; \quad (9.11)$$

$\varphi_{0(R)}$  – плотность потока нейтронов на удалении  $R$  от источника без защиты;  $h$  – толщина слоя;  $d$  – слой половинного ослабления.

Толщину защитного экрана получаем из выражения

$$h = \frac{d\varphi_{0(R)}}{2\varphi_{n(R)}}. \quad (9.12)$$

$$h = \frac{8,2 \cdot 318}{2 \cdot 10} = 13,7 \text{ см.}$$

В выражении  $\varphi_{n(R)} = \frac{\varphi_{0(R)}}{2^{h/d}}$  – плотность потока нейтронов в отсутствие защиты на удалении 1 м от источника согласно [1, табл. 10.6] не должна превышать 10 част/(см<sup>2</sup>ч с), а  $\varphi_{0(R)}$  определяем по формуле (9.9)

$$\varphi_{0(R)} = \frac{10^6}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^4} = 318 \text{ нейтр/(см}^2\text{ч с).}$$

Тогда

$$R = \sqrt{\frac{10^6}{4 \cdot 3,14 \cdot 10}} = 89 \text{ см.}$$

Безопасное расстояние, на котором может находиться оператор при отсутствии защиты, составляет 89 см.

Если рабочее место оператора находится на расстоянии 0,5 м от источника, то в этом случае толщина защиты из бетона должна составлять 13,7 см.

**Задача 9.5.** Определить дозу радиации, которую получают рабочие и служащие локомотивного депо, работая в производственных зданиях с 4 до 16 часов после взрыва, если через 3 часа после взрыва уровень радиации на территории депо был 20 Р/ч.

**Решение.** По прил. 5 табл. 1 для времени начала облучения  $t_H = 4$  ч и продолжительности облучения 12 ч находим коэффициент  $a = 1,2$ .

С помощью прил. 5 табл. 2 приводим уровень радиации на 1 ч после взрыва

$$P_1 = P_t K_{п}, (9.13)$$

где  $K_{п}$  – коэффициент уровня радиации, который находим по прил. 5 табл. 2.

$$P_1 = 20 \cdot 3,74 = 74,8 \text{ Р/ч.}$$

По прил. 5 табл. 4 находим, что для здания депо (одноэтажное производственное) коэффициент ослабления  $K_{осл} = 7$ .

Определяем дозу радиации, которую получают рабочие и служащие депо, по формуле

$$D = \frac{P_1}{a K_{осл}}. (9.14)$$

$$D = \frac{74,8}{1,2 \cdot 7} = 8,9 \text{ Р.}$$

При повторном прил. 5 табл. 3), т.е. часть суммарной дозы облучения, полученной ранее, но не восстановленной организмом к данному сроку. Организм человека способен восстанавливать до 90 % радиационного поражения, причем процесс восстановления начинается через 4 сут от начала первого облучения. Половина полученной дозы восстанавливается примерно за 28–30 сут.

**Задача 9.6.** Определить продолжительность работ в здании вагонного депо, если они начнутся через 6 ч после ядерного взрыва, а через 4 ч после него на территории депо уровень радиации составлял 40 Р/ч и облучении учитывают остаточную дозу облучения  $D_{ост}$  (

установленная доза облучения за сутки 20 Р.

**Решение.** Устанавливаем уровень радиации на территории депо на 1 ч после взрыва, пользуясь прил. 5 табл. 2.

Пользуясь формулой (9.13), получим

$$P_1 = 40 \cdot 5,28 = 211 \text{ Р/ч.}$$

По прил. 5 табл. 4 находим  $K_{осл} = 7$ .

Рассчитываем коэффициент  $a$  по формуле

$$a = \frac{P_1}{D_y K_{\text{осл}}}, \quad (9.15)$$

где  $D_y$  – установленная доза облучения,

$$a = \frac{211}{20 \cdot 7} = 1,5$$

По прил. 5 табл. 1 для  $t_n = 6$  ч находим величину  $a = 1,5$ , которой соответствует допустимая продолжительность работы в здании депо  $T_{\text{доп}} = 12$  ч.

Если работы в здании вагонного депо начнутся через 6 ч после взрыва, рабочие и служащие получат за 12 ч работы дозу облучения не более 20 Р.

**Задача 9.7.** Пассажирский поезд должен проследовать по зараженному участку длиной  $L = 60$  км со скоростью  $V = 40$  км/ч. Середину зоны заражения поезд должен пройти через 4 ч после взрыва. Определить дозу радиации, которую получают пассажиры за время следования по зараженному участку, если уровни радиации  $P$ , приведенные к 1 ч после взрыва, составляли последовательно на станциях А 3 Р/ч, Б 192 Р/ч, Г 60 Р/ч, Д 3 Р/ч, расстояния между станциями примерно равны.

**Решение.** Определяем средний уровень радиации на зараженном участке, приведенный к 1 ч после взрыва

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5}{n}. \quad (9.16)$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{3 + 44 + 192 + 60 + 3}{5} = 60,4 \text{ Р/ч.}$$

Устанавливаем время движения по зараженному участку (время облучения)

$$T = \frac{L}{V}, \quad (9.17)$$

$$T = \frac{60}{40} = 1,5 \text{ ч.}$$

По прил. 5 табл. 4 находим коэффициент ослабления дозы радиации пассажирскими вагонами

$$K_{\text{осл}} = 2,3$$

Определяем дозу радиации, которую получили бы пассажиры при преодолении зараженного участка через 1 ч после взрыва (время пересечения поездом середины зоны заражения):

$$D_1 = \frac{P_{\text{ср}} T}{K_{\text{осл}}}, \quad (9.18)$$

$$D_1 = \frac{60,4 \cdot 1,5}{2,3} = 39,4 \text{ Р.}$$

Рассчитываем дозу радиации за время преодоления зараженного участка через 4 ч после взрыва

$$D = \frac{D_1}{K_{\text{п}}}, \quad (9.19)$$

где  $K_{\text{п}} = 5,28$  – коэффициент пересчета уровня радиации с 4 ч на 1 ч (прил. 5 табл. 2),

$$D = \frac{39,4}{5,28} = 7,5 \text{ Р.}$$

Аналогично определяют дозу радиации за время преодоления зараженного участка или любое другое время, используя коэффициент пересчета.

**Задача 9.8.** Через 1,5 ч после ядерного взрыва уровень радиации на железнодорожной станции составляет: в районе вокзала 31 Р/ч, в районе депо 49 Р/ч. Для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСиДНР) на станции требуется 24 ч. Определить время ввода на станцию спасательных формирований, число и продолжительность смен, если первая смена должна работать 2 ч и на первые сутки установлена доза облучения 25 Р.

**Решение.** С помощью прил. 5 табл. 2 определяем уровни радиации, Р/ч, на 1 ч после взрыва:

– в районе вокзала

$$P_1 = P_t K_{\text{п}};$$

$$R_1 = 31 \cdot 1,63 = 50 \text{ Р/ч};$$

– в районе депо

$$P_1 = P_t K_n;$$

$$R_1 = 49 \cdot 1,63 = 80 \text{ Р/ч.}$$

По [2, прил. 8] находим время начала работ и продолжительность смен при установленной дозе радиации 25 Р.

Результаты сводим в табл. 9.1

Таблица 9.1 Время начала работ, ч (числитель), и продолжительность смен, ч (знаменатель)

Объекты работ	Смены				
	1	2	3	4	5
Вокзал ( $P_1=50$ Р/ч)	$\frac{2,3}{2}$	$\frac{4,3}{4,5}$	$\frac{8,8}{8}$	$\frac{16,8}{9,5}$	–
Депо ( $P_1=80$ Р/ч)	$\frac{3,8}{2}$	$\frac{5,8}{3,4}$	$\frac{9,2}{6,2}$	$\frac{15,4}{8}$	$\frac{23,4}{4,4}$

Сложив знаменатели, находим, что на 24 ч работ требуется в районе вокзала 4 смены, в районе депо – 5 смен, причем пятая смена работает 4,4 ч.

Действия в районах радиоактивного заражения связаны с риском переоблучения людей и требуют постоянного контроля доз облучения. Для облегчения контроля разрабатывается график посменной работы спасательных формирований в условиях радиоактивного заражения (рис. 9.1).



Рис. 9.1. График посменной работы спасательных формирований станции при ведении АСиДНР в условиях радиоактивного заражения

**Задача 9.9.** Рабочие и служащие вагоноремонтного завода проживают в каменных домах ( $K_{осл}=10$ ). Укрытие рабочих и служащих планируется в убежищах ( $K_{осл}=1000$ ). Производственные здания завода – одноэтажные ( $K_{осл}=7$ ). Определить типовые режимы защиты рабочих и служащих, в том

числе, если через 1 час после ядерного взрыва на территории завода замерен уровень радиации 300 Р/ч.

**Решение.** По таблицам типовых режимов находим, что условиям проживания ( $K_{осл} = 10$ ), работы ( $K_{осл} = 7$ ) и укрытия на объекте ( $K_{осл} = 1000$ ) соответствуют типовые режимы радиационной защиты №7 [2, прил. 13].

По типовым режимам №7 определяем, что уровню радиации на 1 ч после взрыва 300 Р/ч соответствует режим защиты В-1 общей продолжительностью 15 сут (гр. 4 по [2, прил. 11–13]), в том числе:

I этап – укрытие в убежищах (работа объекта прекращается) в течение 12 ч (гр. 5);

II этап – работа объекта в две смены в производственных зданиях с отдыхом свободной смены в убежищах в течение 1,5 сут (гр. 6);

III этап – работа объекта в две смены в производственных зданиях с отдыхом смен в жилых домах и с ограничением пребывания на открытой местности до 1–2 ч в сутки в течение 13 сут (гр. 7) (рис. 9.2).

Смены	1-е сутки			2-е сутки		3--15-е сутки	
	Часы суток						
	0-12.00	12.00-16.00	16.00-24.00	0-12.00	12.00-24.00	0-12.00	12.00-24.00
1-я	Шaded	Grid	Vertical lines	Grid	Vertical lines	Grid	Horizontal lines
2-я	Shaded	Vertical lines	Grid	Vertical lines	Grid	Horizontal lines	Grid

Рис. 9.2. График работы вагоноремонтного завода по режиму радиационной защиты №7 В-1 в условиях радиоактивного заражения:  – укрытие рабочих и служащих в убежищах с прекращением работы;  – отдых в убежищах на объекте;  – работы в производственных помещениях;  – отдых в жилых домах

**Задача 9.10.** Рассчитать коэффициент защищенности для следующего режима радиационной защиты путевых рабочих, если радиоактивное заражение произошло через 2 ч после взрыва:

– работа на путях ( $K_1 = 1$ ) в течение  $T_1 = 6$  ч ( $t_1 = 6$  ч);

– пребывание в деревянных зданиях ( $K_2 = 2$ ) в течение  $T_2 = 2$  ч ( $t_2 = T_1 + T_2 = 6 + 2 = 8$  ч);

– пребывание в жилых каменных домах ( $K_3 = 20$ ) в течение  $T_3 = 16$  ч ( $t_3 = T_1 + T_2 + T_3 = 6 + 2 + 16 = 24$  ч).

**Решение.** По прил. 5 табл. 5 для времени заражения  $t_{зар} = 2$  ч находим:

$$\text{для } t_1 = 6 \text{ ч, } N_1 = 62 \text{ ч;}$$

$$\text{для } t_2 = 8 \text{ ч, } N_2 = 70 - 62 = 8 \text{ ч;}$$

$$\text{для } t_3 = 24 \text{ ч, } N_3 = 100 - 70 = 30 \text{ ч,}$$

где  $N_1, N_2, N_3$  – продолжительности облучения.

Находим коэффициент защищенности по формуле

$$C = \frac{100}{\frac{N_1(t_0 t)}{K_1} + \frac{N_2(t_1 t_2)}{K_2} + \dots + \frac{N_{i-1}, t_i}{K_i}}, \quad (9.20)$$

$$C = \frac{100}{\frac{62}{1} + \frac{8}{2} + \frac{30}{20}} 1,5$$

Коэффициент защищенности путей рабочих равен 1,5.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы радиационной безопасности НРБ 76/87 / Госкомсанэпиднадзор. – М.: 1987.
2. Юрпольский, И.И. Гражданская оборона на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. тр-та / И.И. Юрпольский, Г.Т. Ильин, Н.Н. Янченков; Под ред. И.И. Юрпольского. – М.: Транспорт, 1987.
3. Журавлев, В.П. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: Учеб. пособие / В.П. Журавлев, С.Л. Пушенко, А.М. Яковлев. – М.: Изд-во АСВ, 1999.

## 10. ОСВЕЩЕНИЕ

Основную часть информации человек получает через органы зрения, и носителем этой информации является излучение, называемое светом. Благодаря действию светового излучения человек может не только воспринимать зрительные образы предметов, но и видеть окружающий его мир во всем разнообразии красок [1].

Технический прогресс сделал человека независимым от естественного света. Уже давно искусственное освещение стало неотъемлемой составной частью и существенным конструктивным элементом нашей жизни [1].

Осветительные установки создают необходимые условия освещения, которые обеспечивают зрительное восприятие (видение), дающее около 90 % информации, получаемой человеком из окружающего мира. Без современных средств освещения невозможна работа ни одного предприятия, особенно важную роль свет играет для работников шахт, рудников, предприятий в незаконных зданиях, метрополитена, многих взрыво- и пожароопасных производств. Без искусственного света не может обойтись ни один современный город, невозможно строительство, а также работа транспорта в темное время суток [1].

Рациональное освещение помещений и рабочих мест – один из важнейших элементов благоприятных условий труда. При правильном освещении повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость. При недостаточном освещении рабочий плохо видит окружающие предметы и плохо ориентируется в производственной обстановке. Успешное выполнение рабочих операций требует от него дополнительных усилий и большого зрительного напряжения. Неправильное и недостаточное освещение может привести к созданию опасных ситуаций [1].

Основные гигиенические требования к искусственному освещению производственных помещений следующие:

- света должно быть достаточно, но он не должен слепить и оказывать иного неблагоприятного влияния на человека и среду;
- осветительные приборы должны быть безопасными, а их расположение способствовать функциональному зонированию помещений;
- выбор источников света производится с учетом восприятия цветового решения интерьера, спектрального состава света и благоприятного биологического воздействия светового потока.

В настоящее время весьма актуальна проблема обогащения искусственного света ультрафиолетовым излучением.

Предлагаемый раздел разработан в соответствии с типовой программой курса “Безопасность жизнедеятельности”. В нем использованы основные требования СНиП 23-05-95 [2] и СНиП II-4-79 [3].

### Примеры решения задач

**Задача 10.1.** Рассчитать площадь световых проемов в механическом цехе локомотивного депо, расположенного в г. Свердловске, имеющего ширину  $B = 8$  м, длину  $L = 16$  м и высоту  $H = 4$  м. Высота от уровня условной рабочей поверхности до верха окна  $h_1 = 2,8$  м. По условиям зрительной работы цех относится к IV разряду. Коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка  $r_1 = 0,6$ ; стен  $r_2 = 0,4$ ; пола  $r_3 = 0,1$ .

Расстояние между механическим цехом депо и противостоящим зданием  $P = 20$  м, а высота расположения карниза противостоящего здания над подоконником механического цеха  $H_{зд} = 10$  м. В цехе запроектировано боковое освещение из листового двойного стекла, переплеты для окон – деревянные одинарные.

**Решение.** Расчет площади световых проемов при боковом освещении производится по формуле

$$S_0 = \frac{E_N S_{\Pi} K_3 \eta_0 K_{зд}}{100 \tau_0 r_1}, \quad (10.1)$$

где  $S_0$  – площадь световых проемов при боковом освещении;  $E_N$  – нормированное значение коэффициента естественного освещения (КЕО);  $S_{\Pi}$  – площадь пола помещения;  $K_3$  – коэффициент запаса;  $\eta_0$  – световая характеристика окон;  $K_{зд}$  – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями;  $\tau_0$  – общий коэффициент светопропускания,

определяемый по формуле (10.2);  $r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию.

Общий коэффициент светопропускания определяется по формуле

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4, (10.2)$$

где  $t_1$  – коэффициент светопропускания материала;  $t_2$  – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема;  $t_3$  – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (при боковом освещении  $t_3 = 1$ );  $t_4$  – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах.

По условиям задачи определяем:

- нормированное значение КЕО

$$E_N = \lambda_N m_N,$$

где  $N$  – номер группы района по обеспеченности естественным светом;  $\lambda_N$  – нормированное значение КЕО;  $m_N$  – коэффициент, учитывающий особенности светового климата района.

$N = 1$  [2, прил. Д];  $\lambda_N = 1,5$  [2, табл. 1 или 2];  $m_N = 1$  [2, табл. 4].

Тогда

$$E_N = 1,5 \cdot 1 = 1,5 \%,$$

- площадь пола

$$S_{\text{п}} = L B,$$

$$S_{\text{п}} = 16 \cdot 8 = 128 \text{ м}^2;$$

- коэффициент запаса  $K_3 = 1,6$  [2, табл. 3];
- световая характеристика  $h_0 = 10,5$  [3, табл. 26].

$$\frac{L}{B} = \frac{16}{8} = 2, \quad \frac{B}{h_1} = \frac{8}{2,8} = 2,85;$$

- коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями  $K_{\text{зд}} = 1,1$  [3, табл. 27],

$$\frac{P}{K_{\text{зд}}} = \frac{20}{1,1} = 18,18;$$

- коэффициенты  $t_1 = 0,8$ ;  $t_2 = 0,75$ ;  $t_3 = 1$ ;  $t_4 = 1$  (солнцезащитные средства отсутствуют [3, табл. 28]),

$$\tau_0 = 0,8 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 0,6,$$

- коэффициент  $\rho_1$  по [3, табл. 30]. Для рассматриваемого случая он составляет 1,3,

$$S_{\text{стен}} = (16 + 16 + 8 + 8) = 192 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{потолка}} = 16 \cdot 8 = 128 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{СР}} = \frac{\rho_1 S_{\text{п}} + \rho_2 S_{\text{СТ}} + \rho_3 S_{\text{п}}}{S_{\text{п}} + S_{\text{СТ}} + S_{\text{ПОЛА}}};$$

$$S_{\text{СР}} = \frac{0,6 \cdot 128 + 0,4 \cdot 192 + 0,1 \cdot 128}{128 + 192 + 128} = 0,37;$$

$$S_0 = \frac{1,5 \cdot 128 \cdot 1,6 \cdot 105 \cdot 1,1}{100 \cdot 0,6 \cdot 1,3} = \frac{3548,16}{114} = 31,12 \text{ м}^2.$$

Общая площадь световых проемов цеха должна быть не менее 31 м<sup>2</sup>.

**Задача 10.2.** Сборочный цех машиноремонтного завода, находящийся в Читинской области, имеет ширину  $B = 36$  м ( $B_1$  – два пролета по 18 м), длину  $L_{\text{п}} = 48$  м и высоту  $H = 6$  м. Плиты покрытия опираются на железобетонные фермы высотой 2,7 м. В цехе запроектировано верхнее естественное освещение через световые проемы в плоскости покрытия; световые проемы закрыты колпаками из прозрачного органического стекла.

Световые проемы в разрезе имеют форму усеченного конуса, высота которого  $h = 0,6$  м, радиус верхнего основания  $r = 0,6$  м, нижнего основания  $R = 0,95$  м; стенки светового проема имеют коэффициент отражения  $\rho_{\text{ф}} = 0,7$ . Коэффициент отражения поверхностей помещения: покрытия  $\rho_{\text{п}} = 0,55$ ; стен  $\rho_{\text{с}} = 0,3$ ; пола  $\rho_{\text{пол}} = 0,1$ .

По условиям зрительной работы цех относится к V разряду. Требуется определить необходимую площадь зенитных фонарей.

**Решение.** По условиям задачи определяем:

- нормированное значение КЕО;  $N$  – номер группы района для Читинской области – 2;  $I_{\text{н}} = 3\%$  по [2, табл. 1];
- коэффициент, учитывающий особенности светового климата  $m_N = 0,9$  [2, табл. 4].

По этим данным определяем:

- нормированное значение КЕО

$$E_{\text{н}} = 3 \cdot 0,9 = 2,7 \%,$$

- отношение  $L/B_1 = 48/18 = 2,67$  и  $H/B_1 = 6/18 = 0,33$ , а также площадь боковой поверхности  $S_{\text{б}}$ , входного  $S_{\text{вх}}$  и выходного  $S_{\text{вых}}$  отверстий светового проема в плоскости покрытия

$$S_{\text{вх}} = \pi r^2;$$

$$S_{BX} = 3,14 \cdot 0,36 = 1,13 \text{ м}^2;$$

$$S_{ВЫХ} = \pi R^2;$$

$$S_{ВЫХ} = 3,14 \cdot 0,95^2 = 3,14 \cdot 0,903 = 2,84 \text{ м}^2;$$

$$S_B = \pi (R + r) \sqrt{h^2 + (R - r)^2};$$

$$S_B = 3,14 (0,95 + 0,6) \sqrt{0,36 + (0,95 - 0,6)^2} = 3,37 \text{ м}^2;$$

$$\frac{S_{BX} + S_{ВЫХ}}{S_B} = \frac{1,13 + 2,84}{3,37} = 1,18;$$

- значение световой характеристики  $h_{\phi}$  световых проемов в плоскости покрытия при верхнем освещении по [3, табл. 32],  $h_o = 1,45$ ,

$$i = \frac{L_{\Pi}}{H(L_{\Pi} + B)}, \quad (10.3)$$

$$i = \frac{48 \cdot 36}{6(48 + 36)} = \frac{1728}{504} = 3,43;$$

$$\frac{S_{ВЫХ}}{S_{BX} + S_B} = \frac{2,84}{1,13 + 3,37} = 0,63;$$

- значения следующих коэффициентов:
  - светопропускания прозрачного органического стекла  $t_1 = 0,9$  [3, табл. 28];
  - учитывающего потери света в переплетах светопроема,  $t_2 = 1$  (переплеты отсутствуют [3, табл. 28]);
  - учитывающего потери света вследствие затенения строительными конструкциями  $t_3 = 0,8$  (железобетонные фермы высотой 2,7 м [3, табл. 28]);
  - коэффициента, учитывающего потери света в солнцезащитных устройствах  $t_4 = 1$  (солнцезащитные средства отсутствуют);
  - коэффициента, учитывающего потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями,  $t_5 = 0,9$ ;
  - коэффициента, учитывающего тип светового проема верхнего света,  $K_{\phi} = 1,1$  [3, табл. 34];
- общий коэффициент светопропускания по формуле

$$\tau_o = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5, \quad (10.4)$$

$$\tau_o = 0,9 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,648;$$

- площади по заданным размерам помещения:
  - а) пола  $S_1 = 36 \cdot 48 = 1730 \text{ м}^2$ ;
  - б) стен  $S_2 = (36 + 36 + 48 + 48) \cdot 6 = 1010 \text{ м}^2$ ;
  - в) потолка  $S_3 = 36 \cdot 48 = 1730 \text{ м}^2$ ;
- средневзвешенный коэффициент отражения внутренних поверхностей помещения

$$\rho_{CP} = \frac{\rho_{\Pi} S_{\Pi} + \rho_{СТ} S_{СТ} + \rho_{ПОЛА} S_{ПОЛА}}{S_{ПОТОЛКА} + S_{СТЕН} + S_{ПОЛА}}, \quad (10.5)$$

$$p_{\text{СР}} = \frac{0,55 \cdot 1730 + 0,3 \cdot 1010 + 0,1 \cdot 1730}{1730 + 1010 + 1730} = 0,32$$

- значение коэффициента  $r_2$ , учитывающего повышение КЕО при верхнем освещении за счет света, отраженного от поверхностей помещения,  $r_2=1,1$  [3, табл. 33].

Вычисляем исходную площадь зенитных фонарей в процентах от площади пола

$$\frac{S_{\Phi}}{S_{\Pi}} = \frac{E_{\text{н}} \eta_{\Phi}}{\tau_0 r^2 K_{\Phi}}$$

$$\frac{S_{\Phi}}{S_{\Pi}} = \frac{27 \cdot 1,45}{0,648 \cdot 1,1 \cdot 1,1} = \frac{3,915}{0,784} = 4,99 \%$$

**Задача 10.3.** Рассчитать общее электрическое освещение производственного помещения методом коэффициента использования светового потока и подобрать лампу.

Общее освещение производственного помещения площадью  $S = 18 \times 26 \text{ м}^2$  и высотой подвеса  $h_0 = 3 \text{ м}$  запроектировано двухламповыми люминесцентными светильниками типа ОДР. Светильники размещены в виде трех сплошных светящихся линий, расположенных на расстоянии 6 м одна от другой по 21 шт. в каждой линии. Коэффициенты отражения потолка  $r_{\text{п}} = 0,7$ ; стен  $r_{\text{с}} = 0,5$  и расчетной поверхности  $r_{\text{р}} = 0,1$ . Нормированная  $E_{\text{н}} = 300 \text{ лк}$ , а коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ . Затенение рабочих мест отсутствует.

**Решение.** Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента использования светового потока по формуле

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} S K_3 Z}{N_{\text{с}} n_{\text{л}} \gamma \eta_{\text{и}}}, \quad (10.6)$$

где  $\Phi$  – световой поток лампы, лм;  $E_{\text{н}}$  – нормированная освещенность, лк,  $E_{\text{н}}=300 \text{ лк}$ ;  $S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и износ источника света в процессе эксплуатации;  $Z$  – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность освещения,  $Z = 1,1 \dots 1,2$ ;  $N$  – количество светильников;  $n_{\text{л}}$  – количество ламп в светильнике;  $g$  – коэффициент затенения рабочего места работающим,  $g = 0,8 \dots 0,9$ ;  $h_{\text{и}}$  – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока определяется в зависимости от типа светильника, коэффициентов отражения стен и потолка помещения и индекса помещения, определяемого по формуле

$$i = \frac{A B}{h_{\text{р}} (A + B)}, \quad (10.7)$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения, м;  $h_{\text{р}}$  – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м,

$$i = \frac{18 \cdot 26}{3(18 + 26)} = 3$$

Пользуясь [4, табл. 13], определяем коэффициент использования светового потока. Для осветительной установки со светильниками ОДР при рассчитанном индексе помещения и заданных коэффициентах отражения  $h_{и} = 0,62$ , тогда

лм.

Ближайшая по световому потоку [4, табл. 12] люминесцентная лампа типа ЛБ-40 имеет номинальный световой поток 3000 лм, что несколько больше требуемого.

Определим фактическую среднюю освещенность при использовании выбранного источника света:

$$E_{\Phi} = 300 \frac{3000}{2965} = 304 \text{ лк.}$$

Следовательно, с учетом допустимых отклонений выбранный тип лампы

$$\Phi = \frac{300 \cdot 18 \cdot 26 \cdot 15 \cdot 11}{63 \cdot 2 \cdot 0,62} = 2965$$

обеспечивает требуемую освещенность.

**Задача 10.4.** Определить необходимое количество  $N$  ламп накаливания типа Г для светильников типа ШМ (мощность  $P=200$  Вт) для создания общего искусственного освещения в помещении площадью  $S = 500 \text{ м}^2$ , отвечающего нормативным требованиям  $E_{н} = 250$  лк. Коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации  $K_3 = 1,3$ ; световой поток для ламп накаливания типа Г мощностью  $P = 200$  Вт  $\Phi = 3200$  лм; коэффициент использования светового потока  $h_{и} = 0,5$ ; коэффициент неравномерности освещения  $Z = 0,8$ .

**Решение.** Необходимое количество ламп определяем из выражения:

$$N = \frac{E_{н} K_3 S Z}{\Phi \eta_{и}} \quad (10.8)$$

где  $E_{н}$  – нормированная освещенность, лк;  $K_3$  – коэффициент запаса;  $S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $Z$  – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность освещения;  $\Phi$  – световой поток лампы, лм;  $h_{и}$  – коэффициент использования светового потока,

$$N = \frac{250 \cdot 1,3 \cdot 500 \cdot 0,8}{3200 \cdot 0,5} = 81 \text{ шт.}$$

**Задача 10.5.** Определить необходимое количество  $N$  люминесцентных ламп дневного света марки ЛДЦ мощностью  $P = 60$  Вт для создания общего искусственного освещения в помещении площадью  $S=100 \text{ м}^2$ , отвечающего нормативным требованиям,  $E_{н} = 250$  лк. Коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации,  $K_3 = 1,5$ ; световой поток для ламп ЛДЦ мощностью  $P = 65$  Вт,  $\Phi = 3050$  лм; коэффициент использования светового потока  $h_{и} = 0,5$ , коэффициент неравномерности освещения  $Z = 1,2$ .

**Решение.** Необходимое количество ламп определяем из выражения (10.8)

$$N = \frac{250 \cdot 1,5 \cdot 100 \cdot 1,2}{3050 \cdot 0,5} = 30 \text{ шт.}$$

30 ламп ЛДЦ мощностью 60 Вт обеспечат в рассматриваемом случае нормируемую освещенность.

**Задача 10.6.** В рабочем помещении площадью  $60 + 24 = 1440 \text{ м}^2$  установлено 120 светильников типа ОДО с двумя лампами ЛБ-80 в каждом. Коэффициенты отражения стен и потолка рассматриваемого помещения соответственно равны 50 % и 30 %. Нормируемая освещенность в помещении – 200 лк; высота подвеса светильников над рабочей поверхностью  $h_p = 5,5 \text{ м}$ ; коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ .

Проверить, достаточна ли фактическая освещенность для проведения работ в данном помещении.

**Решение.** По формуле (10.7) определим индекс помещения:

$$i = \frac{60 \cdot 24}{5,5(60 + 24)} = 3.$$

Коэффициент использования светового потока для светильников ОДО [4, табл. 13] при индексе помещения  $i = 3$  составляет 56 %.

Учитывая световой поток лампы ЛБ-80, равный 5220 лм, по формуле (10.9) определяем освещенность в помещении

$$E = \frac{\Phi N_c n_l \eta_{и}}{K_3 S Z}, \quad (10.9)$$

где  $\Phi$  – расчетный световой поток лампы, лм;  $N_c$  – количество светильников;  $n_l$  – количество ламп в светильнике;  $\eta_{и}$  – коэффициент использования светового потока;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и износ источника света в процессе эксплуатации;  $S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $Z$  – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность освещения,  $Z = 1,1j$ ,  $j = 1, 2$ ,

$$E = \frac{5220 \cdot 120 \cdot 2 \cdot 0,56}{1,5 \cdot 1440 \cdot 1,2} = 271 \text{ лк.}$$

Так как расчетная освещенность превышает нормируемую, т.е.  $271 > 200$ , то созданная освещенность достаточна для выполнения работ.

**Задача 10.7.** Помещение с размерами  $A = 54 \text{ м}$ ;  $B = 12 \text{ м}$  освещается светильниками типа ОДО с двумя лампами типа ЛБ-80. Коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ ; коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной плоскости соответственно равны  $r_{п} = 50 \%$ ;  $r_{с} = 30 \%$ ;  $r_{р} = 10 \%$ . Высота подвеса светильников над расчетной поверхностью  $h_p = 4 \text{ м}$ . Определить методом коэффициента использования светового потока необходимое число светильников, если нормируемая освещенность  $E_n = 200 \text{ лк}$ .

**Решение.** По формуле (10.7) определим индекс помещения:

$$i = \frac{54 \cdot 12}{4(5 + 12)} = 2,45$$

По [4, табл. 13] находим, что коэффициент использования светового потока  $\eta_{и} = 55\%$ . Учитывая, что световой поток люминесцентной лампы типа ЛБ-80 [4, табл. 12] равен 5220 лк, определяем необходимое число светильников

$$N_c = \frac{E_n K_3 SZ}{\Phi n_l \eta_{\text{И}}} \quad (10.10)$$

$$N_c = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 648 \cdot 1,7}{5220 \cdot 2 \cdot 0,55} = 41 \quad \text{шт.}$$

Следовательно, для освещения помещения необходимо установить 41 светильник.

**Задача 10.8.** Помещение освещено светильниками АСТРА-1 и имеет размеры  $A = 12$  м;  $B = 12$  м;  $H = 3,5$  м. Высота расчетной плоскости  $h_n = 0,8$  м, свес светильников  $h_c = 0,7$  м. Запыленность воздуха  $8$  мг/м<sup>3</sup>; пыль темная. Помещение имеет побеленный потолок, бетонные стены, темную рабочую поверхность. Определить мощность источников света, общую установленную мощность осветительной установки, необходимые для обеспечения нормируемой освещенности  $E_n = 100$  лк.

**Решение.** Высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью  $h_p$  определяем по формуле

$$h_p = H - h_n - h_c, \quad (10.11)$$

где  $H$  – высота помещения, м;  $h_n$  – высота расчетной поверхности, м;  $h_c$  – свес светильника, м.

$$h_p = 3,5 - 0,8 - 0,7 = 2 \text{ м.}$$

По формуле (10.7) определяем индекс помещения

$$i = \frac{12 \cdot 12}{2,0(12 + 12)} = 3.$$

Для заданных условий коэффициенты отражения потолка, стен и рабочей поверхности составляют:  $r_n = 0,7$ ;  $r_c = 0,5$ ;  $r_p = 0,1$ . По [4, табл. 13] находим коэффициент использования светового потока  $h_{\text{И}} = 0,73$ .

Наивыгоднейшее значение отношения  $l = L/h_p = 1,6$  расстояния между светильниками а к расчетной высоте их подвеса  $h_p$  для заданного светильника находим по табл. 10.1. Высота подвеса светильников  $h_p = 2$  м, расстояние между светильниками  $L = 1,6 \cdot 2 = 3,2$  м. Для расчетов принимаем  $L = 3$  м.

*Таблица 10.1*

Рекомендуемые значения  $l$  для светильников

с типовыми кривыми силы света в нижней полусфере

Типовая кривая и силовая обозначения в шифре светильника	1
Концентрированная К	0,6
Глубокая Г	0,9
Косинусная Д	1,4
Полушаровая Л	1,6
Равномерная М	2,0

Приняв расстояние от светильников до стен  $L/2 = 1,5$  м, можно по углам квадрата со стороной  $L = 3$  м разместить в помещении  $N_c=16$  светильников. Схема размещения светильников представлена на рис. 10.1.

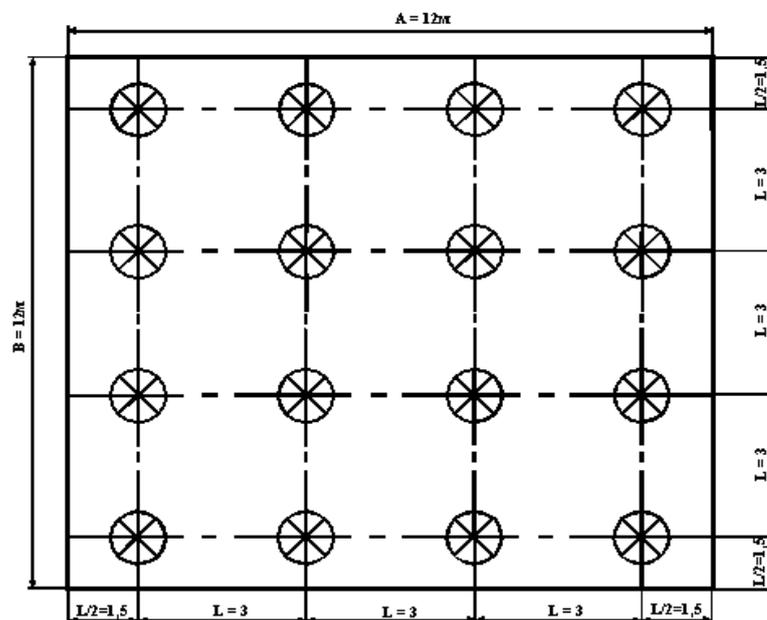


Рис. 10.1. Схема размещения светильников

Принимаем величину поправочного коэффициента  $Z = 1,15$ . По [4, табл. 5] находим, что величина коэффициента запаса для заданной запыленности воздуха темной пылью при использовании ламп накаливания должна быть принята  $K_3 = 1,7$ .

По формуле (10.6) определяем световой поток одной лампы, необходимый для создания нормированной освещенности  $E_H = 100$  лк

$$\Phi = \frac{100 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 1,7 \cdot 1,15}{16 \cdot 0,73} = 2410 \text{ лм.}$$

Необходимую мощность лампы для заданного напряжения сети установим по [4, табл. 11]. Наиболее близка к расчетной величине светового потока лампа накаливания типа Г мощностью 200 Вт,  $\Phi_{л} = 3200$  лм. Выбранная лампа создает фактическую освещенность, лк,

$$E = E_n \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi}$$

$$E = 100 \frac{3200}{2410} = 130 \text{ лк.}$$

Мощность осветительной установки  $P_{\text{оу}}$ , Вт, составит

$$P_{\text{оу}} = n_{\text{л}} p_{\text{л}},$$

$$P_{\text{оу}} = 16 \cdot 200 = 3200 \text{ Вт.}$$

**Задача 10.9.** В помещении ремонтного участка площадью  $45 \text{ м}^2$  светильники типа ЛДОР с лампами ЛД 2г 80 Вт подвешены на высоте 3,8 м над рабочей поверхностью. Коэффициент запаса  $K_3 = 1,8$ .

Определить по удельной мощности число светильников, необходимое для создания освещенности  $E_n = 200 \text{ лк}$ .

**Решение.** При расчете осветительных установок по расчетной мощности  $P_{\text{л}}$ , Вт, пользуемся следующей формулой

$$P_{\text{л}} = \frac{W S}{N_{\text{с}} n_{\text{л}}} = \frac{P_{\text{оу}}}{n_{\text{с}} n_{\text{л}}}, \quad (10.12)$$

где  $W$  – значение удельной мощности, необходимое для обеспечения нормируемой освещенности, Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;  $N_{\text{с}}$  – количество светильников;  $n_{\text{л}}$  – количество ламп в светильнике;  $P_{\text{оу}}$  – мощность осветительной установки, Вт.

Лампу выбирают исходя из расчетной мощности  $P_{\text{л}}$ . Допускается отклонение фактического светового потока лампы от расчетного на 10j 20%. При больших отклонениях необходимо изменять число ламп или их мощность.

В табл. 10.2 в качестве примера даны величины удельной мощности  $W$  для некоторых светильников в зависимости от высоты их подвеса, размеров помещения и нормированной освещенности.

В тех случаях, когда тип светильника задан, определяют необходимое число светильников

$$N_{\text{с}} = \frac{P_{\text{оу}}}{n_{\text{л}} P_{\text{л}}}. \quad (10.13)$$

Таблица 10.2 Удельная мощность общего равномерного освещения при освещенности 100 лк (учтены значения  $r_{\text{п}} = 50\%$ ;  $r_{\text{с}} = 30\%$ ;  $r_{\text{р}} = 10\%$ ;  $K_3 = 1,5$ ;  $Z = 1,1$ )

Параметры помещения		Типы светильников							
		ПВЛМ-Д, ЛСПО, ЛСПО2				ПВЛМ-ДОР, ЛДОР, ЛСПО6			
h <sub>p</sub> , м	S, м <sup>2</sup>	ЛБ-40 ЛБ-65	ЛХБ-40, ЛХБ-65, ЛБ-30, ЛТБ-40, ЛТБ-65, ЛД-40	ЛХБ-80, ЛДВ-40, ЛТБ-80, ЛД-65	ЛД-80, ЛДЦ-65, ЛДЦ-80	ЛБ-40, ЛБ-65	ЛХБ-40, ЛХБ-65, ЛТБ-40, ЛТБ-65, ЛД-40, ЛБ-80	ЛХБ-80, ЛТБ-80, ЛД-65, ЛДЦ-40	ЛД-80, ЛДЦ-65, ЛДЦ-80
3–4	10–15	13,0	15,2	17,6	20,0	14,2	18,4	21,0	24,0
	15–20	11,6	13,6	15,5	18,0	11,2	14,5	16,0	18,6
	20–30	9,9	11,2	13,0	15,6	9,5	10,8	12,5	14,5
	30–50	7,7	8,6	10,0	12,1	7,6	8,9	10,0	11,4
	50–120	5,5	6,4	7,4	8,4	5,9	7,0	7,8	9,1
	120–300	4,4	5,2	5,9	6,7	4,8	5,7	6,5	7,5
	300	3,6	4,1	4,7	5,4	3,9	4,5	5,0	5,9

По табл. 10.2 находим значение удельной мощности  $W_T = 11,4 \text{ Вт/м}^2$ .

Так как в таблице приведены значения удельной мощности для коэффициента запаса  $K_3 = 1,5$  и освещенности  $E = 100 \text{ лк}$ , то введем соответствующую поправку.

Тогда расчетная величина удельной мощности,  $\text{Вт/м}^2$ , составит:

$$W = \frac{E_H}{E_T} \frac{K_3}{K_{3T}} W_T,$$

$$W = \frac{200}{100} \cdot \frac{1,8}{1,5} \cdot 11,4 = 27,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Определяем число светильников

$$n_C = WS / n_{\Gamma} P_{\Gamma},$$

$$n_C = \frac{27,4 \cdot 45}{2 \cdot 80} = 8.$$

**Задача 10.10.** В помещении размерами  $A = 12$  м;  $B = 5$  м необходимо создать освещенность на расчетной плоскости  $E_n = 300$  лк. Светильники ЛСПО с лампами ЛБ2Г 40 Вт подвешены на высоте  $h_p = 3,5$  м над расчетной плоскостью. Коэффициент запаса  $K_3 = 1,8$ .

Определить мощность осветительной установки и необходимое число светильников.

**Решение.** Пользуясь табл. 10.2, определяем значение удельной мощности для  $K_3 = 1,5$ ;  $h_p = 3,5$  и  $S = 60$  м<sup>2</sup>;  $W_T = 5,5$  Вт/м<sup>2</sup>.

С учетом поправки на заданные освещенности и коэффициент запаса получим величину удельной мощности, Вт/м<sup>2</sup>

$$W = \frac{E_n}{E_T} \frac{K_3}{K_{3T}} W_T,$$

$$W = \frac{300}{100} \cdot \frac{1,8}{1,5} \cdot 5,5 = 19,8 \text{ Вт/м}^2.$$

Мощность осветительной установки, Вт,

$$P_{OY} = W S,$$

$$P_{OY} = 19,8 \cdot 60 = 1188 \text{ Вт.}$$

Определяем необходимое число светильников:

$$N_c = \frac{P_{OY}}{n_{\text{л}} P_{\text{л}}},$$

$$N_c = \frac{1188}{2 \cdot 40} = 15 \text{ шт.}$$

Таким образом, для обеспечения освещенности 300 лк необходимо установить 15 светильников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тесленко, И.М. Освещение производственных помещений: Учебное пособие / И.М. Тесленко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2001.
2. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1995.
3. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1980.

4. Тесленко, И.М. Освещение: Методические указания для студентов, изучающих курс “Безопасность жизнедеятельности” / И.М. Тесленко, Б.А. Мамот. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Вопросы охраны труда, производственной и экологической безопасности, защиты человека в экстремальных и чрезвычайных ситуациях в современных условиях являются наиболее актуальными для специалистов любого профиля. Настоящее учебное пособие является результатом обобщения и систематизации опыта преподавания учебной дисциплины “Безопасность жизнедеятельности” в течение последних лет.

Предлагаемое пособие предназначено для самостоятельного освоения студентами всех специальностей и форм обучения методов решения задач по безопасности жизнедеятельности,

Основная цель учебного пособия – приобретение практических навыков в овладении основными разделами курса “БЖД”. При работе над пособием авторами выполнено следующее:

- рассмотрены и проанализированы теоретические основы по всем приведенным в пособии разделам “БЖД”;

- изложена методика решения основных групп задач по каждому разделу с необходимыми рекомендациями и заданиями;

- даны разъяснения наиболее трудных этапов решения задач особенно по разделам электробезопасности, защиты от шума и вибрации, отопления и вентиляции и др.;

- приведены в списке литературы действующие законодательные акты и нормативно-технические документы, касающиеся всех разделов курса “БЖД”;

- предоставлена студентам возможность выборочного изучения материала по любому из разделов дисциплины “БЖД” при подготовке к экзамену;

- предоставлена справочная информация, помогающая студентам выполнить расчетную часть обязательного раздела дипломного проекта по вопросам безопасности.

Сознавая, что в данном пособии не все может оказаться удачным, любые дополнения, отзывы, замечания и пожелания будут восприняты преподавателями кафедры “Безопасность жизнедеятельности” с благодарностью.

## ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПО ТЕМАМ

### БЛОК №1

#### 1. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

##### 1.1. Расчет защитного заземления

Каждый студент решает задачу 1 и 2 по своему варианту

Для расчетов по заземлителю берем данные, которые показаны на рис 1.1 (см. пример решения задачи 1.1). Данные по Задаче 2 указаны в таблице по вариантам.

$R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом.}$

**Задача 1.** Определить сопротивление растеканию сложного заземления, состоящего из вертикальных стержневых заземлителей и горизонтальной полосы, соединяющей их в контур. Их размеры и размещение в земле показаны на рис. 1.1,  $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом.}$

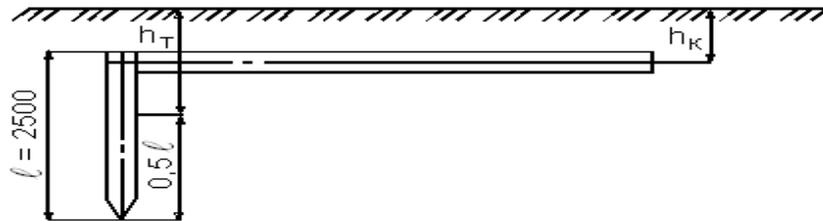


Рис. 1.1. Размещение сложного заземлителя в земле

<b>ВАРИАНТ</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Мощность трансформатора	100	25	160	1000	100	25	160	1000	25	160	1000	100	160	25	1000
Вид почвы	песок	песок	песок	песок	суглинок	суглинок	суглинок	суглинок	чернозем	чернозем	чернозем	глина	глина	глина	глина
Значение по климатическим зонам	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	IV	I	II	III	IV
<b>ВАРИАНТ</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>11</b>
Мощность трансформатора		1000	25	100	100	160	1000	100	25	160	100	100	1000	160	25
Вид почвы	глина	глина	глина	глина	чернозем	чернозем	чернозем	чернозем	суглинок	суглинок	суглинок	песок	песок	песок	песок

Значение по климатическим зонам	IV	II	I	III	IV	III	II	III	IV	I	II	III	I	II	IV
---------------------------------	----	----	---	-----	----	-----	----	-----	----	---	----	-----	---	----	----

**Задача 2.** Рассчитать повторное заземление, у конца воздушной линии напряжением 380/220 В с глухозаземленной нейтралью. Мощность питающего трансформатора — 100кВА, грунт – **НОМЕР ВАРИАНТА**; климатическая зона – **НОМЕР ВАРИАНТА** остальные данные в дополнительных таблицах.

## БЛОК №2

### 1.2. Пример расчета зануления на отключающую способность

Номер задачи смотреть по варианту

<b>Вариант</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Номер задачи</b>	7	8	9	16	11	12	13	14	15	1	2	3	4	5	6
<b>Вариант</b>	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	1	2	3	4	11
<b>Номер задачи</b>	10	11	1	2	3	4	5	16	7	8	9	12	13	14	15

**Задача 1.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 100 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 2.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 160 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 3.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 125 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 4.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 200 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 5.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 250 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 6.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис.

1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 315 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 7.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 500 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 8.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 630 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 9.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 1000 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 10.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 800 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 11.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 1250 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 12.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 2500 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 13.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 4000 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 14.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 2000 кВА. (рис.1.2, 1.3)

**Задача 15.** Проверить, удовлетворяет ли отключающей способности по схеме выбранное сечение нулевого провода линии, показанной на рис. 1.2.(см.пример решения задачи) Линия 380/220 В с медными проводами 3 х 25+1х16 мм<sup>2</sup> питается от трансформатора мощностью 3150 кВА. (рис.1.2, 1.3)

### **БЛОК №3**

**Задача 1.** Перекачка наливных грузов осуществляется через стационарную эстакаду при помощи центробежного насоса 5НД, приводимого в действие трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором мощностью 28 кВт. В трансформаторной подстанции, удаленной от

эстакады на расстояние 250 м, установлен понижающий трансформатор мощностью 160 кВА на напряжении 380/220 В со схемой соединения обмоток Д/у. Питание насоса осуществляется по трехжильному кабелю типа АВГ. В качестве нулевого проводника предполагается использовать алюминиевую оболочку кабеля.

Требуется определить ток плавкой вставки и проверить зануление на отключающую способность.

**Задача 2.** Рассчитать величину тока, проходящего через тело человека при однополюсном прикосновении к сети (см. рис. 1.3). Исходные данные: напряжение  $U_{\phi} = 220$  В; сопротивление фазы “А”  $r_A = 10$  кОм, сопротивление фазы “В”  $r_B = 120$  кОм; сопротивление фазы “С”  $r_C = 1$  МОм; сопротивление тела человека  $R_h = 1$  кОм.

Оценить опасность прикосновения человека к сети, если отпускающее значение тока  $I_h = 6$  мА.

**Задача 3.** Рассчитать величину тока, проходящего через тело человека при однополюсном прикосновении к сети (см. рис. 1.3). Исходные данные: напряжение сети  $U_c = 380$  В; сопротивление фазы “А”  $r_a = 1$  кОм; сопротивление фаз “В” и “С”  $r_B = r_C = 0,5$  кОм; сопротивление тела человека  $R_h = 1$  кОм. Оценить опасность прикосновения человека к сети, если отпускающее значение тока  $I_h = 6$  мА.

**Задача 4.** В конце линии 380/220 В (рис. 1.5) имеется зануленный потребитель энергии (электродвигатель). Вследствие удаленности его от питающего трансформатора возможны случаи отказа зануления. По условиям безопасности требуется безусловное отключение установки при замыкании фазы на корпус, причем напряжение прикосновения  $U_{\text{пр доп}}$  не должно превышать длительно 60 В. Для выполнения этих условий снабжаем электроустановку защитно-отключающим устройством, реагирующим на потенциал корпуса. При этом используем реле напряжения РН, у которого напряжение срабатывания  $U_{\text{ср}} = 40$  В, сопротивление обмотки активное  $R_{\text{рн}} = 300$  Ом и индуктивное  $X_{\text{рн}} = 200$  Ом.

**Задача 5.** Определить величину напряжения срабатывания при его следующих параметрах: сопротивление измерительного органа  $R_{\text{рн}} = 5000$  Ом; сопротивление рабочего заземляющего устройства  $R_3 = 2000$  Ом; ток срабатывания  $I_{\text{ср}} = 3 \cdot 10^{-3}$  А.

**Задача 6.** Оценить опасность прикосновения человека к заземленному ( $R_{\text{зн}} = 10$  Ом) корпусу крана, работающего в охранной зоне воздушной ЛЭП с номинальным напряжением  $U = 750$  В, если нейтральная точка питающего линию трансформатора заземлена  $R_{3N}$  (рис. 1.6).

**Задача 7.** Перекачка наливных грузов осуществляется через стационарную эстакаду при помощи центробежного насоса 5НД, приводимого в действие трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором мощностью 28 кВт. В трансформаторной подстанции, удаленной от эстакады на расстояние 250 м, установлен понижающий трансформатор мощностью 220 кВА на напряжении 380/220 В со схемой соединения обмоток

Д/у. Питание насоса осуществляется по трехжильному кабелю типа АВГ. В качестве нулевого проводника предполагается использовать алюминиевую оболочку кабеля.

Требуется определить ток плавкой вставки и проверить зануление на отключающую способность.

**Задача 8.** Рассчитать величину тока, проходящего через тело человека при однополюсном прикосновении к сети (см. рис. 1.3). Исходные данные: напряжение  $U_{\phi} = 220$  В; сопротивление фазы «А»  $r_A = 10$  кОм, сопротивление фазы «В»  $r_B = 110$  кОм; сопротивление фазы «С»  $r_C = 2$  МОм; сопротивление тела человека  $R_h = 1$  кОм.

Оценить опасность прикосновения человека к сети, если отпускающее значение тока  $I_h = 8$  мА.

**Задача 9.** В конце линии 380/220 В (рис. 1.5) имеется зануленный потребитель энергии (электродвигатель). Вследствие удаленности его от питающего трансформатора возможны случаи отказа зануления. По условиям безопасности требуется безусловное отключение установки при замыкании фазы на корпус, причем напряжение прикосновения  $U_{пр доп}$  не должно превышать длительно 60 В. Для выполнения этих условий снабжаем электроустановку защитно-отключающим устройством, реагирующим на потенциал корпуса. При этом используем реле напряжения РН, у которого напряжение срабатывания  $U_{ср} = 60$  В, сопротивление обмотки активное  $R_{рн} = 300$  Ом и индуктивное  $X_{рн} = 200$  Ом.

**Задача 10.** Определить величину напряжения срабатывания при его следующих параметрах: сопротивление измерительного органа  $R_{рн} = 4000$  Ом; сопротивление рабочего заземляющего устройства  $R_3 = 1000$  Ом; ток срабатывания  $I_{ср} = 3 \cdot 10^{-3}$  А.

**Задача 11.** Оценить опасность прикосновения человека к заземленному ( $R_{зн} = 10$  Ом) корпусу крана, работающего в охранной зоне воздушной ЛЭП с номинальным напряжением  $U = 750$  В, если нейтральная точка питающего заземлена  $R_{3N}$  (рис. 1.6).

**Задача 12.** Оценить опасность прикосновения человека к заземленному ( $R_{зн} = 15$  Ом) корпусу крана, работающего в охранной зоне воздушной ЛЭП с номинальным напряжением  $U = 750$  В, если нейтральная точка питающего линию трансформатора заземлена  $R_{3N} = 6$  Ом.

**Задача 13.** Рассчитать величину тока, проходящего через тело человека при однополюсном прикосновении к сети (см. рис. 1.3). Исходные данные: напряжение сети  $U_c = 380$  В; сопротивление фазы «А»  $r_a = 2$  кОм; сопротивление фаз «В» и «С»  $r_B = r_C = 0,5$  кОм; сопротивление тела человека  $R_h = 1$  кОм. Оценить опасность прикосновения человека к сети, если отпускающее значение тока  $I_h = 9$  мА.

**Задача 14.** Определить величину напряжения срабатывания при его следующих параметрах: сопротивление измерительного органа  $R_{рн} = 3150$  Ом; сопротивление рабочего заземляющего устройства  $R_3 = 800$  Ом; ток срабатывания  $I_{ср} = 3 \cdot 10^{-3}$  А.

**Задача 11.** Оценить опасность прикосновения человека к заземленному ( $R_{3N}=12$  Ом) корпусу крана, работающего в охранной зоне воздушной ЛЭП с номинальным напряжением  $U = 1000$  В, если нейтральная точка питающего заземлена  $R_{3N}$  (рис. 1.6).

**Задача 12.** В конце линии 380/220 В (рис. 1.5) имеется зануленный потребитель энергии (электродвигатель). Вследствие удаленности его от питающего трансформатора возможны случаи отказа зануления. По условиям безопасности требуется безусловное отключение установки при замыкании фазы на корпус, причем напряжение прикосновения  $U_{\text{пр доп}}$  не должно превышать длительно 60 В. Для выполнения этих условий снабжаем электроустановку защитно-отключающим устройством, реагирующим на потенциал корпуса. При этом используем реле напряжения РН, у которого напряжение срабатывания  $U_{\text{ср}} = 80$  В, сопротивление обмотки активное  $R_{\text{рн}} = 300$  Ом и индуктивное  $X_{\text{рн}} = 200$  Ом.

**Задача 13.** Определить величину напряжения срабатывания при его следующих параметрах: сопротивление измерительного органа  $R_{\text{рн}} = 4000$  Ом; сопротивление рабочего заземляющего устройства  $R_3 = 1000$  Ом; ток срабатывания  $I_{\text{ср}} = 3 \cdot 10^{-3}$  А.

**Задача 14.** Перекачка наливных грузов осуществляется через стационарную эстакаду при помощи центробежного насоса 5НД, приводимого в действие трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором мощностью 28 кВт. В трансформаторной подстанции, удаленной от эстакады на расстояние 400 м, установлен понижающий трансформатор мощностью 500 кВА на напряжении 380/220 В со схемой соединения обмоток Д/у. Питание насоса осуществляется по трехжильному кабелю типа АВГ. В качестве нулевого проводника предполагается использовать алюминиевую оболочку кабеля.

Требуется определить ток плавкой вставки и проверить зануление на отключающую способность.

**Задача 15.** Оценить опасность прикосновения человека к заземленному ( $R_{3N} = 17$  Ом) корпусу крана, работающего в охранной зоне воздушной ЛЭП с номинальным напряжением  $U = 1000$  В, если нейтральная точка питающего линию трансформатора заземлена  $R_{3N}=6$  Ом.

#### БЛОК № 4

**Задача 1.** Определить валовой выброс оксида углерода, оксидов азота, оксидов серы и твердых частиц при сжигании 938 т/год высокосернистого мазута в камерной топке котельной. Котельная вырабатывает 9 тонн пара в час и оборудована центробежным скруббером ЦС-ВТИ.

**Задача 2.** Рассчитать валовой выброс частиц абразивной пыли от трех круглошлифовальных станков с диаметрами круга 300, 350, 400 мм. Станки работают в сутки по 8 часов, в год – 230 дней. Участок оборудован аппаратом сухой очистки воздуха циклон ЦН-15.

**Задача 3.** Определить количество  $\text{NO}_2$ , образующейся при сжигании угля. Максимальная температура факела в топке 1400 К, коэффициент избытка воздуха на выходе из топки составляет 1,02. Расход топлива – 8,90 кг/с, содержание азота в топливе  $N^p = 0,6\%$ . Теоретически необходимый объем воздуха  $V^0 = 2,86 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Объемы составляющих продуктов сгорания:  $V_{\text{RO}_2}^0 = 0,56 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_{\text{N}_2}^0 = 2,27 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,60 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Объем топки составляет  $910 \text{ м}^3$ .

**Задача 4.** Определить максимальное загрязнение холодной пылью приземного слоя атмосферы, источником которого является труба высотой 25 м, диаметром устья 1 м, выбрасывающая в атмосферу воздух после очистки в пылеулавливающих установках. Степень очистки воздуха от пыли не менее 90 %. Объем выбрасываемого воздуха  $8,5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Валовой выброс пыли  $M = 5 \text{ г/с}$ ,  $\text{ПДК}_{\text{м.р}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$ , фоновая концентрация пыли  $C_{\text{ф}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$ . Предприятие расположено в г. Читинской области

**Задача 5.** Рассчитать выбросы ксилола и аэрозоля краски МЛ-029 от окрасочного участка при расходе краски 215 кг/год. На разведение краски и подготовку поверхности расходуется 80 кг/год растворителя Р-5. Краска наносится на поверхность безвоздушным способом.

**Задача 6.** Рассчитать объемы выбросов соединений марганца и твердых частиц в сварочном цехе при производстве сварочных работ электродами АНО-3. Расход электродов 540 кг/год.

**Задача 7.** Определить валовой выброс гидроокиси натрия при обмывке узлов и деталей в растворе каустической соды. Ванна 3,0 м длиной, 0,7 м высотой и 0,5 м шириной. Рабочий день равен 8 ч.

**Задача 8.** Рассчитать валовой выброс древесной пыли от деревообрабатывающего участка: три кругопильных станка ПАРК-8, один сверлильный ДЦА-2 при 8-часовом рабочем дне.

**Задача 9.** Рассчитать валовой выброс древесной пыли от деревообрабатывающего участка: строгальный и фуговальный один марки СФ-2, второй марки - СФ-4 при 8-часовом рабочем дне.

**Задача 10.** Рассчитать объем выбросов сажи и оксида углерода от 16-магистральных двухсекционных локомотивов 2ТЭ10В и двух маневровых локомотивов ТЭМ2. Магистральные локомотивы работают в день по 14 часов со средней нагрузкой 65%. Маневровые локомотивы работают в день по 12 часов со средней нагрузкой 30%. Локомотивы эксплуатируются ежедневно за исключением простоев на ремонте, что составляет 340 дней в году.

**Задача 11.** Рассчитать валовой выброс частиц абразивной пыли от трех круглошлифовальных станков с диаметрами круга 300, 350, 400 мм. Станки работают в сутки по 8 часов, в год – 210 дней. Участок оборудован аппаратом сухой очистки воздуха циклон ЦН-15.

**Задача 12.** Определить количество  $\text{NO}_2$ , образующейся при сжигании угля. Максимальная температура факела в топке 1200 К, коэффициент избытка воздуха на выходе из топки составляет 1,02. Расход топлива – 6,50 кг/с, содержание азота в топливе  $N^p = 0,7 \%$ . Теоретически необходимый объем

воздуха  $V^0 = 2,86 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Объемы составляющих продуктов сгорания:  $V_{\text{RO}_2} = 0,56 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_{\text{N}_2}^0 = 2,27 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,60 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Объем топки составляет  $910 \text{ м}^3$ .

**Задача 13.** Определить максимальное загрязнение холодной пылью приземного слоя атмосферы, источником которого является труба высотой 25 м, диаметром устья 1 м, выбрасывающая в атмосферу воздух после очистки в пылеулавливающих установках. Степень очистки воздуха от пыли не менее 90 %. Объем выбрасываемого воздуха  $8,5 \text{ м}^3/\text{с}$ . Валовой выброс пыли  $M = 5 \text{ г/с}$ ,  $\text{ПДК}_{\text{м.р}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$ , фоновая концентрация пыли  $C_{\text{ф}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$ . Предприятие расположено в г. Читинской области

**Задача 14.** Рассчитать выбросы ксилола и аэрозоля краски МЛ-029 от окрасочного участка при расходе краски 215 кг/год. На разведение краски и подготовку поверхности расходуется 80 кг/год растворителя Р-5. Краска наносится на поверхность безвоздушным способом.

**Задача 15.** Рассчитать валовой выброс древесной пыли от деревообрабатывающего участка: от 3-х плоскошлифовальных станка, один сверлильный ДЦА-2 при 8-часовом рабочем дне.

## БЛОК № 5

**Задача 1.** Рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание (фундамент) с обеспечением допустимых параметров вибрации рабочих мест в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброизоляторы пружинные; виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10 т; общий вес  $Q = 12660 \text{ Н}$ , в том числе подвижных частей  $Q_{\text{п.ч}} = 10500 \text{ Н}$ , частота колебаний  $f = 50 \text{ Гц}$ ; максимальный кинематический момент дебалансов  $M = 5200 \text{ Н/см}$ ; амплитуда колебаний виброплатформы  $a = 0,5 \text{ мм}$ ; размер виброплатформы 8 x 2,4 м; грунт—. Супесь при коэффициенте пористости  $K = 0,5$

**Задача 2.** Рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание (фундамент) с обеспечением допустимых параметров вибрации рабочих мест в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброизоляторы пружинные; виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10 т; общий вес  $Q = 10500 \text{ Н}$ , в том числе подвижных частей  $Q_{\text{п.ч}} = 12800 \text{ Н}$ , частота колебаний  $f = 50 \text{ Гц}$ ; максимальный кинематический момент дебалансов  $M = 5200 \text{ Н/см}$ ; амплитуда колебаний виброплатформы  $a = 0,5 \text{ мм}$ ; размер виброплатформы 8 x 2,4 м; грунт—. Суглинки при коэффициенте пористости  $K: - 0,7$ ;

**Задача 3.** Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой железобетонной плите размерами 1,7 x 1,2 x 0,1 м, весом 3600 Н, виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц  $V = 0,09$  м/с, виброизоляторы – металлические пружины.

**Задача 4 .** Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой железобетонной плите размерами 2,0 x 1,6 x 0,2 м, весом 4200 Н, виброскорость рабочего места на частоте 65 Гц  $V = 0,08$  м/с, виброизоляторы – металлические пружины.

**Задача 5.** Определить какая часть динамических сил от вибрации частотой 120 Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладкой из резины средней жесткости толщиной 7 см.

**Задача 6.** Рассчитать виброизоляцию электродвигателя весом 1200 Н с числом оборотов  $n=3100$  об/мин.

**Задача 7.** Рассчитать виброизоляцию виброплощадки с обеспечением допустимых параметров вибрации в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90, если виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 12 т; общий вес  $Q = 14200$  Н, в т.ч. подвижных частей  $Q_{п.ч.} = 11800$  Н; частота колебаний 50 Гц; максимальный кинематический момент дебалансов  $M = 5200$  Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы  $a = 0,07$  мм; размер виброплатформы 8 x 2,4 м; амортизаторы пневморезиновые.

**Задача 8.** Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой плите размерами 1,6 x 1,2 x 0,2 м весом 3500 Н; виброскорость рабочего места на частоте 63 Гц составляет  $V = 0,09$  м/с; виброизоляторы резиновые.

**Задача 9.** Установить эффективность виброизоляции вентиляционной установки с электрическим приводом, если вес установки  $P = 1500$  кгс; частота вращения вала электродвигателя  $n = 850$  об/мин; количество виброизоляторов (с одной пружиной)  $N = 6$  шт. Допустимая амплитуда смещения  $a_z = 0,14$  мм.

**Задача 10.** Рассчитать пассивную виброизоляцию под вентиляторную установку и ее эффективность, если масса установки  $P = 280$  кгс; частота вращения вала электродвигателя  $n = 870$  об/мин; расчетная амплитуда вертикальных колебаний установки  $a_z = 0,0028$  мм; виброизоляторы выполнены из четырех одинарных пружин с размещением между пружинами и несущей конструкцией резиновых прокладок (при расчете их влияние не учитывается); допускаемое напряжение на кручение для пружинной стали  $[t] = 4,2 \cdot 10^3$  кгс/см<sup>2</sup>; модуль сдвига  $s = 8 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>; индекс  $c = 4$ ;  $K_p = 1,4$ .

**Задача 11.** Определить, на сколько децибел улучшится виброизоляция на частоте вращения вентилятора  $f$ , если жесткость амортизаторов уменьшить

вдвое; вентиляционная установка закреплена с помощью амортизаторов на перекрытии складского помещения; статический прогиб амортизаторов  $X_{ст} = 7$  мм.

**Задача 12.** Дизель-генератор массой  $m = 2400$  кгс установлен на восьми резинометаллических амортизаторах с суммарной жесткостью  $K_Z = 18 \cdot 10^5$  Н/м; частота вращения вала установки  $n = 750$  об/мин. Сравнить параметры вибрации с допустимыми значениями по ГОСТ 12.1.012-90(3.38)

**Задача 13.** Рассчитать виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации, если рабочее место размещено на виброизолируемой плите размерами  $1,6 \times 1,2 \times 0,3$  м весом  $3170$  Н; виброскорость рабочего места на частоте  $63$  Гц составляет  $V = 0,07$  м/с; виброизоляторы резиновые.

**Задача 14.** Установить эффективность виброизоляции вентиляционной установки с электрическим приводом, если вес установки  $P = 1700$  кгс; частота вращения вала электродвигателя  $n = 850$  об/мин; количество виброизоляторов (с одной пружиной)  $N = 6$  шт. Допустимая амплитуда смещения  $a_z = 0,14$  мм.

**Задача 15.** Определить какая часть динамических сил от вибрации частотой  $115$  Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладкой из резины средней жесткости толщиной  $5$  см.

### БЛОК № 6

**Задача 1.** Рассчитать снижение шума за экраном, если открытое стойло реостатных испытаний тепловозов расположено на расстоянии  $120$  м от жилого района. Расстояние от тепловоза до экрана  $a = 7$  м, от экрана до жилого района  $b = 95$  м. Высота тепловоза  $h = 5$  м, высота экрана  $H = 10$  м. Окна жилого дома расположены на расстоянии от земли  $K = 2,2$  м.

**Задача 2** Произвести оценку уровня звука в расчетной точке на территории больницы, который создает вентиляционная установка, расположенная на расстоянии  $350$  м от больницы. Уровень звукового давления, создаваемый вентиляционной установкой, составляет  $120$  дБА. Между источником шума и расчетной точкой расположена однорядная зеленая зона шириной  $24$  м.

**Задача 3.** Рассчитать общее снижение шума  $CШ_0$  в жилом районе, расположенном в  $80$  м от пункта реостатных испытаний, за счет расстояния от источника шума, поглощения в воздухе и зелеными насаждениями. Расстояние от тепловоза до экрана, высота экрана и другие данные приведены на рис. 4.1 и в задаче 4.1. Ширина зоны зеленых насаждений между экраном и жилым зданием составляет  $20$  м.

**Задача 4** В сложившейся зоне жилой застройки источник создает тональный шум с уровнем звука  $L_{ист} = 50$  дБА. Определить удовлетворяют ли параметры шума в период с  $23$  до  $7$  часов утра.

**Задача 5** По данным измерений, проведенных санитарно-эпидемиологической станцией (СЭС), уровни звукового давления в помещении диспетчерской грузового двора превышают предельно допустимые значения. Величины превышений в октавных полосах частот, определенные СЭС, приведены ниже:

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Величина превышения $\Delta L$ , дБ	8	12	15	17	16	14

Предложить мероприятия по снижению уровня шума и оценить их эффективность.

Исходные данные и результаты расчета представлены в табл. (4.10 методички.)

**Задача 6.** При работе компрессора из всасывающей трубы диаметром 160 мм излучается шум, уровень которого равен 130 дБ на расстоянии 1,5 м от фильтра. Спектр излучаемого шума в октавных полосах частот приведен в табл. 4.11. Предприятие расположено в промышленном районе и работает круглосуточно. На расстоянии 110 м от компрессорной находятся жилые здания. Требуется рассчитать уровень шума на расстоянии 4 м перед окнами зданий при работе компрессора без глушителя, определить превышение шума над нормами и подобрать такой глушитель, чтобы шум не превышал нормы.

**Задача 7.** В цехе испытания топливных насосов стенд для испытания изолирован от общего помещения цеха перегородкой, выполненной из кирпича весом  $260 \text{ кг/м}^2$  (1/2 кирпича); пункт обдувки и очистки агрегатов топливных насосов сжатым воздухом изолирован перегородкой из стекла толщиной 4 мм и фанеры толщиной 6 мм. Вес перегородки из стекла –  $14 \text{ кг/м}^2$ , фанеры –  $8 \text{ кг/м}^2$ . Требуется определить частотную характеристику звукоизоляции ограждений.

**Задача 8.** Определить затраты тепла  $Q$  на отопление проектируемого здания локомотивного депо по его удельной тепловой характеристике, составляющей  $0,7 \text{ Вт/м}^3 \text{ К}$ . Объем отапливаемого здания равен  $3000 \text{ м}^3$ . Температура воздуха в помещении составляет  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура наружного воздуха  $t_n = -16 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 9.** Для общественного здания определить величину удельной тепловой характеристики при следующих исходных данных:  $F = 600 \text{ м}^2$ ;  $S = 140 \text{ м}^2$ ;  $V_n = 1500 \text{ м}^3$ ;  $d = 0,5$ .

**Задача 10.** Определить тепловую мощность отопительной системы пассажирского купейного вагона с 36 пассажирами, если площадь ограждений составляет  $F = 220 \text{ м}^2$ . Приведенный коэффициент теплопередачи через ограждения вагона  $k = 2,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ . Температура воздуха в вагоне  $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура наружного воздуха  $t_n = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Принять количество теплоты, выделяемой одним пассажиром,  $q_{\text{пас}} = 110 \text{ Вт/чел}$ .

**Задача 11.** Пассажирский купейный вагон имеет площадь ограждения  $F = 200 \text{ м}^2$ . Приведенный коэффициент теплопередачи составляет  $2,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ . Температура наружного воздуха  $t_n = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура воздуха в вагоне  $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопередачи нагревательных приборов  $k_n = 10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ,

при этом температура воды на входе в приборы  $t_2 = 85\text{ }^\circ\text{C}$ , а на выходе  $t_1 = 70\text{ }^\circ\text{C}$ . Определить площадь теплообменной поверхности отопительной системы вагона.

**Задача 12** Рассчитать калориферную установку в системе воздушного отопления производственного помещения для нагревания воздуха  $L = 26000\text{ м}^3/\text{ч}$  с начальной температурой  $t_n = -22\text{ }^\circ\text{C}$  до конечной  $t_k = 20\text{ }^\circ\text{C}$ . Теплоноситель: вода с параметрами  $t_r = 120\text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_o = 80\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 13** В моечном отделении депо испаряются водяные пары в количестве  $12\text{ кг/ч}$ . Температура наружного воздуха  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ , внутреннего  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $-75\%$ . Требуется определить необходимый воздухообмен для помещения.

**Задача 14** В цехе выделяется хлор. При нормальной работе оборудования кратность воздухообмена  $K_{PH} = 12\text{ ч}^{-1}$ . В случае нарушения технологического режима выделение хлора увеличивается в 10 раз, т.е.  $m = 10$ . Определить через какое время после устранения аварии концентрация хлора снизится до ПДК, если кратность воздухообмена аварийной вентиляции равна  $5\text{ ч}^{-1}$ .

**Задача 15.** В помещении для кратковременного пребывания людей собралось 40 человек. Объем помещения  $V = 800\text{ м}^3$ . Определить, через какое время после начала собрания нужно включить в работу приточно-вытяжную вентиляцию при следующих данных: количество  $\text{CO}_2$ , выделяемое одним человеком,  $20\text{ л/ч}$ ; допустимое содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе помещения  $x_2 = 2\text{ л/м}^3$ ; концентрация  $\text{CO}_2$  в наружном (приточном) воздухе  $x_1 = 0,6\text{ л/м}^3$ .

## БЛОК № 7

**Задача 1.** В помещении испытаний топливной аппаратуры депо требуется переместить  $3600\text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха при полном расчетном давлении  $35\text{ кг/м}^2$ . Подобрать тип вентилятора и определить мощность электродвигателя.

**Задача 2.** Воздухообмен, обеспечивающий удаление избытков теплоты в цехе локомотивного депо, составляет  $164000\text{ кг/ч}$ . Определить площади приточных и вытяжных фрамуг, если расстояние между центрами фрамуг  $H = 8\text{ м}$ ,  $t_b = 23,3\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{yx} = 31,3\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_n = 20,3\text{ }^\circ\text{C}$ . Соотношение площадей приточных  $F_1$  и вытяжных  $F_2$  фрамуг составляет 1,25.

**Задача 3.** Рассчитать воздушную завесу у ворот локомотивного депо, выполненную по схеме с забором внутреннего воздуха и подачей его в завесу без подогрева. Размеры ворот: ширина  $B = 3,6\text{ м}$ , высота  $H = 3,0\text{ м}$ .

Расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно составляют  $t_n = -22\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_b = -12\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 4.** Рассчитать воздушно-тепловую завесу для административного здания локомотивного депо при заборе внутреннего воздуха на завесу. Исходные данные:  $t_n = -24\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $r_n = 1,45\text{ кг/м}^3$ ;  $h_{л.к} = 8\text{ м}$ ;  $t_b = 14\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $r_b = 1,24\text{ кг/м}^3$ ;  $h_{от} = 3\text{ м}$ ;  $H_{дв} = 2,5\text{ м}$ ;  $F_{вх} = 2\text{ м}^2$ ; количество проходящих людей  $n = 800\text{ чел/ч}$ ;  $K = 0,38$ ;  $m_{вх} = 0,1$  для входных вращающихся дверей;  $t_y = 50\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Задача 5.** Рассчитать очистку запыленного воздуха в рукавных фильтрах, если объем воздуха  $Q$  составляет  $275000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Подобрать марку рукавного фильтра, определить их необходимое число и воздушную нагрузку.

**Задача 6.** Определить максимальную глубину разработки в суглинке, при которой будет обеспечена ее устойчивость, если требуемый угол откоса разработки равен  $65^\circ$ .

**Задача 7.** Для предупреждения обрушения грунтовых масс при разработке котлована рассчитать допустимую крутизну откоса котлована. Исходные данные: глубина котлована – 15 м, вид грунта – песок.

**Задача 8.** Определить допустимую крутизну откоса выемки в глине глубиной 7 м при наличии нагрузки на поверхности 4 кПа.

**Задача 9.** Определить крутизну волноустойчивого неукрепленного откоса пойменной насыпи из песчаного грунта. Гранулометрический состав грунта приведен в табл. 6.5. Исходные данные: высота насыпи – 3 м, расчетный уровень воды (РУВ) – 2,8 м. Параметры волны: длина – 2 м, высота – 0,8 м.

**Задача 10.** В суглинке необходимо сделать траншею с вертикальными стенками глубиной 6 м. Рассчитать крепление траншеи. Для крепления применить доски толщиной 0,06 м.

**Задача 11.** В песке средней крупности необходимо сделать уступ с вертикальными стенками, глубиной 3 м. Рассчитать анкерное крепление стенки уступа. Для крепления намечено применить стойки диаметром 0,06 м и доски толщиной 0,05 м.

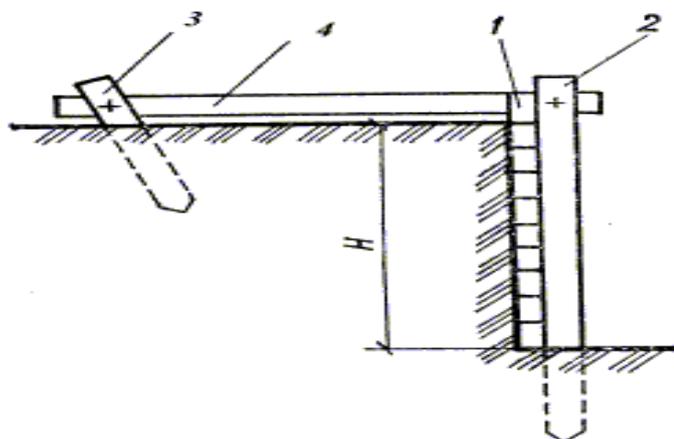


Рис. 6.5. Анкерное крепление вертикальных стенок уступа: 1 – крепежные доски; 2 – стойка; 3 – анкер; 4 – затяжка

**Задача 12.** Подобрать стальные канаты для стропов с четырьмя ветвями при подъеме грузов с максимальным весом 60 кН при вертикальном и наклонном положении стропов.

**Задача 13.** Подобрать канаты для временного раскрепления колонны при помощи четырех растяжек. Высота колонны – 10,4 м; сечение –  $0,5 \times 0,5$  м; масса – 3300 кг.

**Задача 14.** Оценить устойчивость башенного крана при подъеме груза весом 12 кН с учетом дополнительных нагрузок и уклона пути (рис. 6.7).

Исходные данные:  $G = 20$  кН;  $c = 0,30$  м;  $v = 0,5$  м/с;  $t = 5$  с;  $W_k = 150$  Па;  $r = 15$  м;  $W_r = 50$  Па;  $n = 0,2$  мин<sup>-1</sup>;  $h = 8$  м;  $H = 25$  м;  $\alpha = 2^\circ$ ;  $b = 2$  м;  $a = 25$  м;  $r_1 = 26$  м.

**Задача 15.** Для предупреждения обрушения грунтовых масс при разработке котлована рассчитать допустимую крутизну откоса котлована. Исходные данные: глубина котлована – 9 м, вид грунта – глина.

## БЛОК № 8

**Задача 1.** Асинхронный двигатель типа А2-92-6, соединенный с вентилятором, имеет следующие технические данные: номинальная мощность  $P_{ном} = 68$  кВт; номинальное линейное напряжение  $U_{ном} = 380$  В; номинальный ток статора  $I_{ном,дв} = 135$  А; кратность пускового тока  $k = 5,7$ . Требуется выбрать плавкие вставки к предохранителям типа ПН-2, установленным на линии, питающей двигатель, при условии, что двигатель загружен полностью.

**Задача 2.** К однофазной сети (рис. 7.1) подключена розетка Р. В силу каких то причин в месте соединения провода с одним из ее зажимов образовалось переходное сопротивление  $R_{п} = 100$  Ом. К розетке подключена нагрузка, внутренним сопротивлением которой можно пренебречь ( $R_b = 0$ ). Сопротивление фазного и нулевого провода от места подключения розетки до нулевой точки составляет по 2 Ом. Определить мощность, выделяемую в переходном сопротивлении  $R_{п}$ , и оценить опасность воспламенения изоляции.

**Задача 3.** Определить мощность, выделяемую в переходном сопротивлении однофазной сети (рис. 7.1), и оценить опасность воспламенения изоляции. В розетке сети, в месте соединения проводов, образовалось переходное сопротивление  $R_{п} = 70$  Ом. Сопротивление фазного и нулевого проводов от места подключения розетки до нулевой точки составляет по 1 Ом. Напряжение сети 127 В.

**Задача 4.** Питание зарядного пункта электропогрузчиков осуществляется по воздушной четырехпроводной линии длиной  $\ell = 160$  м от трансформатора 6/0,4 кВ мощностью 60 кВА со схемой Д/У. Воздушная проводка выполнена фазными проводами А25 и нулевым А16, а внутренняя – на роликах проводом ПР сечением 10 мм<sup>2</sup>. Наиболее защищаемый удаленный электропотребитель отстоит от распределительного щитка зарядного пункта на 20 м.

**Задача 5.** Асинхронный двигатель типа А2-92-6, соединенный с вентилятором, имеет следующие технические данные: номинальная мощность  $P_{ном} = 68$  кВт; номинальное линейное напряжение  $U_{ном} = 380$  В; номинальный ток статора  $I_{ном,дв} = 220$  А; кратность пускового тока  $k = 4,3$ . Требуется выбрать плавкие вставки к предохранителям типа ПН-2, установленным на линии, питающей двигатель, при условии, что двигатель загружен полностью.

**Задача 6.** Грузовой прирельсовый склад хлопчатобумажных изделий имеет размеры 74г, 20г, 8,0м. Интенсивность грозовой деятельности  $N = 40$  ч/год. Среднее число ударов молнии на 1 км<sup>2</sup> в год  $n = 6$ . Рассчитать зону защиты.

**Задача 7.** Бензин со скоростью  $V = 110$  л/мин наливают в изолированную цистерну вместимостью  $M = 1200$  л. Скорость электризации бензина  $q = 1,14 \cdot 10^{-8}$  АЧ с/л. Необходимо обеспечить безопасность от возможных разрядов статического электричества

**Задача 8.** Определить электростатический потенциал  $j$  отключенного и незаземленного провода трехфазной линии 110 кВ с горизонтальным расположением проводов.

Провода марки АС-95 ( $r = 7$  мм – радиус провода);  $H = 9,7$  м – средняя высота подвеса проводов над проводящим слоем грунта;  $d = 4$  м – расстояние между проводами.

**Задача 9.** Определить радиус взрывоопасной зоны при аварийной разгерметизации стандартной цистерны емкостью  $62 \text{ м}^3$  с сжиженным пропаном при получении пробоины площадью  $S_0 = 27 \text{ см}^2$  и мгновенной разгерметизации цистерны (проливе всего количества пропана).

**Задача 10.** При аварии на городских водозаборных сооружениях произошел выброс хлора. Оценить химическую обстановку на территории локомотивного депо, если количество хлора, участвующего в аварии,  $Q_0 = 12$  т; разлив в поддон, высота поддона  $H = 0,8$  м; скорость ветра в момент аварии  $V = 5$  м/с; температура воздуха  $t = 18$  °С; время суток – день; состояние погоды – пасмурно; расстояние от места аварии до депо  $X = 1,8$  км; количество работающих в смене человек – 150, все работающие находятся в зданиях, средствами индивидуальной защиты не обеспечены.

**Задача 11.** При крушении железнодорожного состава произошло разрушение цистерны с жидким хлором, находящимся под давлением. Определить зону возможного заражения хлором, если в цистерне находилось 25 т хлора; состояние погоды – изотермия; скорость ветра – 3 м/с; температура воздуха – 0°С; разлив хлора на подстилающей поверхности – свободный.

**Задача 12.** При аварии на мясокомбинате произошел выброс аммиака. Облако зараженного воздуха двинулось в сторону ПЧ. Определить химическую обстановку на территории ПЧ, если количество аммиака, участвующего в аварии,  $Q_0 = 27$  т; разлив свободный; температура воздуха на момент аварии +16 °С; время суток – вечер; состояние погоды – ясно; расстояние от места аварии до территории ПЧ  $x = 2,5$  км; количество людей на территории ПЧ 15 чел., в т.ч. находящихся в здании – 20 чел., вне зданий – 10 чел.; скорость движения воздуха  $V = 5$  м/с.

**Задача 13.** При крушении железнодорожного состава разрушилось несколько цистерн, в которых находилось: хлора – 20 т, аммиака – 40 т, соляной кислоты – 10 т. Определить глубину зоны химического заражения, если скорость ветра на момент аварии  $V = 5$  м/с; изотермия; время, прошедшее после аварии 2 часа, температура воздуха 0°С.

**Задача 14.** Определить вероятный характер разрушения элементов локомотивного депо при взрыве горюче-воздушной смеси (ГВС) на складе дизельного топлива, если масса топлива на складе  $Q_0 = 300$  т; расстояние до 1-го

стойла – 350 м; до 2-го стойла – 250 м; до здания пескосушилки – 500 м; до локомотива, стоящего перед 1-м стойлом, – 480 м.

**Задача 15.** Определить вероятный характер разрушения зданий, сооружений железнодорожной станции и потери среди работников при случайном взрыве разрядных грузов во время их выгрузки, если количество взрывчатых веществ (ВВ) на выгрузочной площадке  $Q_0 = 60$  т; здание поста ЭЦ 2-этажное кирпичное, расположено на расстоянии 500 м от выгрузочной площадки, контактная сеть – на расстоянии 400 м, подвижной состав (вагоны) – на расстоянии 400 м.

## БЛОК № 9

**Задача 1.** Рассчитать коэффициент защиты помещения, приспособленного под противорадиационное укрытие (ПРУ), расположенное в одноэтажном здании, если длина помещения  $\ell = 14$  м; ширина помещения  $b = 6$  м; ширина здания  $B = 8$  м; вес  $1 \text{ м}^2$  наружных стен  $q_{\text{ст}} = 1200 \text{ кгс/м}^2$ ; высота помещения  $h = 3$  м; площадь оконных проемов 1-го этажа  $S_0 = 2,4 \text{ м}^2$ ; расстояние от пола 1-го этажа до оконного проема составляет 1,5 м; ширина возможного зараженного участка, примыкающего к зданию,  $D = 40$  м; вес  $1 \text{ м}^2$  перекрытия подвала  $q_{\text{п}} = 600 \text{ кгс/м}^2$ ; сумма плоских углов с вершинами в центре помещения, напротив которых расположены стены с суммарным весом менее  $1000 \text{ кгс/м}^2$ ,  $\alpha = 40^\circ$ .

**Задача 2.** Рассчитать коэффициент защиты помещения административного здания вагонного депо, которое при необходимости используется под противорадиационное укрытие, если помещение находится в цокольном этаже; длина помещения  $\ell = 12$  м; ширина помещения  $b = 6$  м; ширина здания  $B = 14$  м; вес  $1 \text{ м}^2$  наружных стен  $q_{\text{ст}} = 900 \text{ кгс/см}^2$ ; высота помещения  $h = 3$  м; площадь оконных проемов 1-го этажа  $S_0 = 12 \text{ м}^2$ ; расстояние от пола 1-го этажа до оконного проема  $h_0 = 1$  м; ширина зараженного участка, примыкающего к зданию,  $D = 40$  м; вес  $1 \text{ м}^2$  перекрытия подвала  $q_{\text{п}} = 500 \text{ кгс/м}^2$ .

**Задача 3.** Определить характер разрушений и вероятность возникновения завалов в районе землетрясения силой 10 баллов при плотности застройки 40 %, этажности 6–8, ширине улиц 20 м.

**Задача 4.** Определить характер разрушений и вероятность возникновения завалов в районе воздействия урагана при скорости ветра до 60 м/с.

**Задача 5.** Рассчитать коэффициент защиты помещения, приспособленного под противорадиационное укрытие (ПРУ), расположенное в одноэтажном здании, если длина помещения  $\ell = 14$  м; ширина помещения  $b = 8$  м; ширина здания  $B = 8$  м; вес  $1 \text{ м}^2$  наружных стен  $q_{\text{ст}} = 800 \text{ кгс/м}^2$ ; высота помещения  $h = 3$  м; площадь оконных проемов 1-го этажа  $S_0 = 2,4 \text{ м}^2$ ; расстояние от пола 1-го этажа до оконного проема составляет 1,5 м; ширина возможного зараженного участка, примыкающего к зданию,  $D = 40$  м; вес  $1 \text{ м}^2$  перекрытия подвала  $q_{\text{п}} = 700 \text{ кгс/м}^2$ ; сумма плоских углов с вершинами в центре

помещения, напротив которых расположены стены с суммарным весом менее  $1000 \text{ кгс/м}^2$ ,  $\alpha = 40^\circ$ .

**Задача 6.** Рассчитать коэффициент защиты помещения административного здания вагонного депо, которое при необходимости используется под противорадиационное укрытие, если помещение находится в цокольном этаже; длина помещения  $\ell = 12 \text{ м}$ ; ширина помещения  $b = 6 \text{ м}$ ; ширина здания  $B = 14 \text{ м}$ ; вес  $1 \text{ м}^2$  наружных стен  $q_{\text{ст}} = 900 \text{ кгс/см}^2$ ; высота помещения  $h = 3 \text{ м}$ ; площадь оконных проемов 1-го этажа  $S_o = 12 \text{ м}^2$ ; расстояние от пола 1-го этажа до оконного проема  $h_o = 1 \text{ м}$ ; ширина зараженного участка, примыкающего к зданию,  $D = 40 \text{ м}$ ; вес  $1 \text{ м}^2$  перекрытия подвала  $q_{\text{п}} = 500 \text{ кгс/м}^2$ .

**Задача 7.** Определить толщину свинцового экрана для защиты оператора от гамма-излучения радиоактивного вещества, если гамма-эквивалент радиоактивного вещества  $84 \text{ мГЧ экв.Ра}$ ; расстояние от источника до рабочего места  $0,6 \text{ м}$ ; продолжительность работы с источником  $24 \text{ часа}$  в неделю; энергия гамма-излучения  $1,25 \text{ МэВ}$ .

**Задача 8.** Для нейтрализации статических зарядов на мониторе и системном блоке персонального компьютера используют  $\beta$ -источник. Рассчитать линейный пробег  $\beta$ -частиц в воздухе и определить толщину защитного экрана, если максимальная энергия  $\beta$ -частиц  $3 \text{ МэВ}$ ; защитный материал – железо.

**Задача 10.** Определить безопасное расстояние  $B$ , на котором может находиться оператор, проводящий измерения плотности бетона при отсутствии экрана, и толщину защитного экрана, если источник излучения – нейтронный; мощность источника  $10^6 \text{ нейтр/с}$ ; энергия нейтронов  $4 \text{ МэВ}$ ; защитный материал – бетон, слой половинного ослабления которого  $16 \text{ см}$ ; при наличии защиты оператор находится на удалении  $0,6 \text{ м}$  от источника; рабочая неделя – стандартная; облучение проходит параллельным пучком.

**Задача 11.** Определить дозу радиации, которую получают рабочие и служащие локомотивного депо, работая в производственных зданиях с  $4$  до  $16$  часов после взрыва, если через  $4$  часа после взрыва уровень радиации на территории депо был  $20 \text{ Р/ч}$ .

**Задача 12.** Определить продолжительность работ в здании вагонного депо, если они начнутся через  $6 \text{ ч}$  после ядерного взрыва, а через  $4 \text{ ч}$  после него на территории депо уровень радиации составлял  $340 \text{ Р/ч}$  и облучении учитывают остаточную дозу облучения  $D_{\text{ост}}$  (установленная доза облучения за сутки  $20 \text{ Р}$ .)

**Задача 13.** Пассажирский поезд должен проследовать по зараженному участку длиной  $L = 50 \text{ км}$  со скоростью  $V = 35 \text{ км/ч}$ . Середину зоны заражения поезд должен пройти через  $5 \text{ ч}$  после взрыва. Определить дозу радиации, которую получают пассажиры за время следования по зараженному участку, если уровни радиации  $P$ , приведенные к  $1 \text{ ч}$  после взрыва, составляли последовательно на станциях А  $3 \text{ Р/ч}$ , Б  $192 \text{ Р/ч}$ , Г  $60 \text{ Р/ч}$ , Д  $3 \text{ Р/ч}$ , расстояния между станциями примерно равны.

**Задача 14.** Через 2 ч после ядерного взрыва уровень радиации на железнодорожной станции составляет: в районе вокзала 35 Р/ч, в районе депо 49 Р/ч. Для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСиДНР) на станции требуется 24 ч. Определить время ввода на станцию спасательных формирований, число и продолжительность смен, если первая смена должна работать 2 ч и на первые сутки установлена доза в условиях радиоактивного заражения

**Задача 15.** Рабочие и служащие вагоноремонтного завода проживают в каменных домах ( $K_{\text{осл}}=12$ ). Укрытие рабочих и служащих планируется в убежищах ( $K_{\text{осл}}=1000$ ). Производственные здания завода – одноэтажные ( $K_{\text{осл}}=6$ ). Определить типовые режимы защиты рабочих и служащих, в том числе, если через 1 час после ядерного взрыва на территории завода замерен уровень радиации 300 Р/ч.

## БЛОК № 10–

**Задача 1.** Рассчитать площадь световых проемов в механическом цехе локомотивного депо, расположенного в г.Ульяновске, имеющего ширину  $B = 8$  м, длину  $L = 2$  м и высоту  $H = 5$  м. Высота от уровня условной рабочей поверхности до верха окна  $h_1 = 2,8$  м. По условиям зрительной работы цех относится к IV разряду. Коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка  $r_1 = 0,7$ ; стен  $r_2 = 0,5$ ; пола  $r_3 = 0,1$ .

Расстояние между механическим цехом депо и противостоящим зданием  $P = 18$  м, а высота расположения карниза противостоящего здания над подоконником механического цеха  $H_{\text{зд}} = 8$  м. В цехе запроектировано боковое освещение из листового двойного стекла, переплеты для окон – деревянные одинарные

**Задача 2.** Сборочный цех машиноремонтного завода, находящийся в Читинской области, имеет ширину  $B = 34$  м ( $B_1$  – два пролета по 17 м), длину  $L_{\text{п}} = 46$  м и высоту  $H = 5$  м. Плиты покрытия опираются на железобетонные фермы высотой 2,7 м. В цехе запроектировано верхнее естественное освещение через световые проемы в плоскости покрытия; световые проемы закрыты колпаками из прозрачного органического стекла

Световые проемы в разрезе имеют форму усеченного конуса, высота которого  $h = 0,8$  м, радиус верхнего основания  $r = 0,6$  м, нижнего основания  $R = 0,95$  м; стенки светового проема имеют коэффициент отражения  $r_{\text{ф}} = 0,7$ . Коэффициент отражения поверхностей помещения: покрытия  $r_{\text{п}} = 0,55$ ; стен  $r_{\text{с}} = 0,4$ ; пола  $r_{\text{пол}} = 0,2$ .

По условиям зрительной работы цех относится к V разряду. Требуется определить необходимую площадь зенитных фонарей.

**Задача 3.** Рассчитать общее электрическое освещение производственного помещения методом коэффициента использования светового потока и подобрать лампу.

Общее освещение производственного помещения площадью  $S = 227,28 \text{ м}^2$  и высотой подвеса  $h_0 = 3 \text{ м}$  запроектировано двухламповыми люминесцентными светильниками типа ОДР. Светильники размещены в виде трех сплошных светящихся линий, расположенных на расстоянии 6 м одна от другой по 21 шт. в каждой линии. Коэффициенты отражения потолка  $r_{\text{п}} = 0,7$ ; стен  $r_{\text{с}} = 0,5$  и расчетной поверхности  $r_{\text{р}} = 0,1$ . Нормированная  $E_{\text{н}} = 300 \text{ лк}$ , а коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ . Затенение рабочих мест отсутствует.

**Задача 4.** Определить необходимое количество  $N$  ламп накаливания типа Г для светильников типа ШМ (мощность  $P=200 \text{ Вт}$ ) для создания общего искусственного освещения в помещении площадью  $S = 700 \text{ м}^2$ , отвечающего нормативным требованиям  $E_{\text{н}} = 250 \text{ лк}$ . Коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации  $K_3 = 1,3$ ; световой поток для ламп накаливания типа Г мощностью  $P = 200 \text{ Вт}$   $\Phi = 3200 \text{ лм}$ ; коэффициент использования светового потока  $h_{\text{и}} = 0,5$ ; коэффициент неравномерности освещения  $Z = 0,8$ .

**Задача 5.** Определить необходимое количество  $N$  люминесцентных ламп дневного света марки ЛДЦ мощностью  $P = 40 \text{ Вт}$  для создания общего искусственного освещения в помещении площадью  $S = 800 \text{ м}^2$ , отвечающего нормативным требованиям,  $E_{\text{н}} = 250 \text{ лк}$ . Коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации,  $K_3 = 1,5$ ; световой поток для ламп ЛДЦ мощностью  $P = 65 \text{ Вт}$ ,  $\Phi = 3050 \text{ лм}$ ; коэффициент использования светового потока  $h_{\text{и}} = 0,5$ , коэффициент неравномерности освещения  $Z = 1,2$ .

**Задача 6.** В рабочем помещении площадью  $60 \text{ на } 24 = 1440 \text{ м}^2$  установлено 100 светильников типа ОДО с двумя лампами ЛБ-80 в каждом. Коэффициенты отражения стен и потолка рассматриваемого помещения соответственно равны 50 % и 30 %. Нормируемая освещенность в помещении – 200 лк; высота подвеса светильников над рабочей поверхностью  $h_{\text{р}} = 4,8 \text{ м}$ ; коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ .

Проверить, достаточна ли фактическая освещенность для проведения работ в данном помещении.

**Задача 7.** Помещение с размерами  $A = 62 \text{ м}$ ;  $B = 14 \text{ м}$  освещается светильниками типа ОДО с двумя лампами типа ЛБ-80. Коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ ; коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной плоскости соответственно равны  $r_{\text{п}} = 50 \%$ ;  $r_{\text{с}} = 30 \%$ ;  $r_{\text{р}} = 10 \%$ . Высота подвеса светильников над расчетной поверхностью  $h_{\text{р}} = 4 \text{ м}$ . Определить методом коэффициента использования светового потока необходимое число светильников, если нормируемая освещенность  $E_{\text{н}} = 200 \text{ лк}$ .

**Задача 8.** Помещение освещено светильниками АСТРА-1 и имеет размеры  $A = 12 \text{ м}$ ;  $B = 12 \text{ м}$ ;  $H = 3,5 \text{ м}$ . Высота расчетной плоскости  $h_{\text{п}} = 0,8 \text{ м}$ , свес светильников  $h_{\text{с}} = 0,7 \text{ м}$ . Запыленность воздуха  $8 \text{ мг/м}^3$ ; пыль темная. Помещение имеет побеленный потолок, бетонные стены, темную рабочую поверхность. Определить мощность источников света, общую установленную

мощность осветительной установки, необходимые для обеспечения нормируемой освещенности  $E_n = 100$  лк.

**Задача 9.** В помещении ремонтного участка площадью  $52 \text{ м}^2$  светильники типа ЛДОР с лампами ЛД 2г 80 Вт подвешены на высоте  $4,0$  м над рабочей поверхностью. Коэффициент запаса  $K_3 = 1,8$ .

Определить по удельной мощности число светильников, необходимое для создания освещенности  $E_n = 200$  лк.

**Задача 10.** В помещении размерами  $A = 14$  м;  $B = 6$  м необходимо создать освещенность на расчетной плоскости  $E_n = 300$  лк. Светильники ЛСПО с лампами ЛБ2г 40 Вт подвешены на высоте  $h_p = 3,5$  м над расчетной плоскостью. Коэффициент запаса  $K_3 = 1,8$ .

Определить мощность осветительной установки и необходимое число светильников.

**Задача 1.** Определить необходимое количество  $N$  ламп накаливания типа Г для светильников типа ШМ (мощность  $P = 200$  Вт) для создания общего искусственного освещения в помещении площадью  $S = 750 \text{ м}^2$ , отвечающего нормативным требованиям  $E_n = 250$  лк. Коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации  $K_3 = 1,3$ ; световой поток для ламп накаливания типа Г мощностью  $P = 200$  Вт  $\Phi = 3200$  лм; коэффициент использования светового потока  $h_{и} = 0,5$ ; коэффициент неравномерности освещения  $Z = 0,8$ .

**Задача 12.** Определить необходимое количество  $N$  люминесцентных ламп дневного света марки ЛДЦ мощностью  $P = 60$  Вт для создания общего искусственного освещения в помещении площадью  $S = 1200 \text{ м}^2$ , отвечающего нормативным требованиям,  $E_n = 250$  лк. Коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации,  $K_3 = 1,5$ ; световой поток для ламп ЛДЦ мощностью  $P = 65$  Вт,  $\Phi = 3050$  лм; коэффициент использования светового потока  $h_{и} = 0,5$ , коэффициент неравномерности освещения  $Z = 1,2$ .

**Задача 13.** В рабочем помещении площадью  $70$  на  $20 = 1400 \text{ м}^2$  установлено 110 светильников типа ОДО с двумя лампами ЛБ-80 в каждом. Коэффициенты отражения стен и потолка рассматриваемого помещения соответственно равны  $50 \%$  и  $30 \%$ . Нормируемая освещенность в помещении –  $200$  лк; высота подвеса светильников над рабочей поверхностью  $h_p = 4,8$  м; коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ .

Проверить, достаточна ли фактическая освещенность для проведения работ в данном помещении.

**Задача 14.** Помещение с размерами  $A = 74$  м;  $B = 16$  м освещается светильниками типа ОДО с двумя лампами типа ЛБ-80. Коэффициент запаса  $K_3 = 1,6$ ; коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной плоскости соответственно равны  $r_n = 50 \%$ ;  $r_c = 30 \%$ ;  $r_p = 10 \%$ . Высота подвеса светильников над расчетной поверхностью  $h_p = 4$  м. Определить методом

коэффициента использования светового потока необходимое число светильников, если нормируемая освещенность  $E_n = 200$  лк.

**Задача 15.** Помещение освещено светильниками АСТРА-1 и имеет размеры  $A = 14$  м;  $B = 10$  м;  $H = 3,5$  м. Высота расчетной плоскости  $h_{\text{п}} = 0,9$  м, свес светильников  $h_c = 0,7$  м. Запыленность воздуха  $8 \text{ мг/м}^3$ ; пыль темная. Помещение имеет побеленный потолок, бетонные стены, темную рабочую поверхность. Определить мощность источников света, общую установленную мощность осветительной установки, необходимые для обеспечения нормируемой освещенности  $E_n = 100$  лк.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Материалы для решения задач

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка			Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
экса	Э	$10^{18}$	деци	д	$10^{-1}$
пэта	П	$10^{15}$	санتي	с	$10^{-2}$
тера	Т	$10^{12}$	милли	м	$10^{-3}$
гига	Г	$10^9$	микро	мк	$10^{-6}$
мега	М	$10^6$	нано	н	$10^{-9}$
кило	к	$10^3$	пико	п	$10^{-12}$
гекто	г	$10^2$	фемто	ф	$10^{-15}$
дека	да	$10^1$	атто	а	$10^{-18}$

### Греческий алфавит

Обозначения букв	Названия букв	Обозначения букв	Названия букв
A, α	альфа	N, ν	ню (ни)
B, β	бета	E, ξ	кси
Γ, γ	гамма	O, ο	омикрон
Δ, δ	дельта	Π, π	пи
E, ε	эпсилон	P, ρ	ро
Z, ζ	зета	Σ, σ	сигма
H, η	эта	Τ, τ	тау
Θ, θ	тета	Υ, υ	ипсилон
I, ι	йота	Φ, φ	фи

К,к	каппа	Χ,χ	χι
Λ,λ	лямбда	Ψ,ψ	пси
Μ,μ	ми (мю)	Ω,ω	омега

Коэффициенты сезонности для слоя сезонных измерений в многослойной земле

Климатическая зона по табл.	Условная толщина слоя изменений, м	Состояний (увлажненность) земли во время измерений ее сопротивления		
		повышенной влажности	нормальной влажности	малой влажности
I	2,2	7,0	4,0	2,7
II	2,0	5,0	2,7	1,9
III	1,8	4,0	2,0	1,5
IV	1,6	2,5	1,4	1,1



### Характеристика СДЯВ и вспомогательные коэффициенты для определения зон заражения

Наименование СДЯВ	Плотность		Значения вспомогательных конструкций							
	СДЯВ, т/м <sup>3</sup>		K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>7</sub>				
	газ	жидкость				для +40° С	для +20° С	для 0° С	для -20° С	для -40° С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Аммиак:										
хранение под давлением	0,0008	0,681	0,18	0,025	0,04	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{0,6}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,4}{1}$
изотермическое хранение	–	0,681	0,01	0,025	0,04	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$
Водород фтористый	–	0,989	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
Водород хлористый	0,0016	1,191	0,28	0,037	0,30	$\frac{0,64}{1}$	$\frac{0,6}{1}$	$\frac{0,8}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,2}{1}$
Водород цианистый	–	0,687	–	0,026	3,0	–	–	0,4	1	1,3
Нитрилаприловая кислота	–	0,806	0	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Окислы азота	–	1,491	–	0,040	0,40	–	–	0,4	1	1
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	0,11	0,049	0,333	$\frac{0}{0,2}$	$\frac{0}{0,5}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,7}{1}$
Сероводород	0,0015	0,964	0,27	0,04	0,03	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,8}{0,8}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,2}{1,2}$

				2	6	1	1	1	1	1
Сероуглерод	–	1,263	–	0,02 1	0,01 3	0,1	0,2	0,4	1	2,1
Фосген	0,0035	1,432	0,05	0,06 1	1,0	<u>0</u> 0,1	<u>0</u> 0,3	<u>0</u> 0,7	<u>1</u> 1	<u>2,7</u> 1
Хлор	0,0032	1,553	0,18	0,05 2	1,0	<u>0</u> 0,9	<u>0,3</u> 1	<u>0,6</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1,4</u> 1
Хлорпикрин	–	1,658	0	0,00 2	30,0	0,03	0,1	0,3	1	29
Хлорциан	0,0021	1,220	0,04	0,04 8	0,80	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0,6	<u>1</u> 1	3,9 1

### Продолжение прил. 1

Окончание табл. 1

Наименование СДЯВ	Плотность		Значения вспомогательных конструкций							
	СДЯВ, т/м <sup>3</sup>		К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>	К <sub>7</sub>				
	газ	жидкость				для +40° С	для +20° С	для 0° С	для – 20° С	для –40° С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фосфор трихлорстый	–	1,570	0	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
Этиленмин	–	0,838	0	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Метиламин	0,0014	0,699	0,13	0,34	0,5	<u>0</u> 0,3	<u>0</u> 0,7	<u>0,5</u> 1	<u>1</u> 1	<u>2,5</u> 1
Метилаприлат	–	0,953	0	0,005	0,025	0,1	0,2	0,4	1	3,1

Соляная кислота (неконцентрированная)	–	1,198	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
--	---	-------	---	-------	------	---	-----	-----	---	-----

**Примечания:** 1. Плотность газообразных СДЯВ в графе 3 приведена при атмосферном давлении. При давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности газообразных СДЯВ определяются путем умножения данных графы 3 на значение давления, кгс/см<sup>2</sup>.

2. В графах 7j 11 в числителе значение для первичного, в знаменателе – для вторичного облака.

### Продолжение прил. 1

Таблица 2 Определение степени вертикальной устойчивости воздуха по прогнозу погоды

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность	Ясно, переменная облачность	Сплошная облачность
< 2	инв.	изот.	из.(ин.)	изот.	конв. (из.)	изот.	инв.	изот.
2j 3,9	инв.	изот.	из.(ин.)	изот.	конв. (из.)	изот.	инв.	изот.
i 4	инв.	изот.	из.(ин.)	изот.	конв. (из.)	изот.	инв.	изот.

**Примечания:** 1. Обозначения “инв.” – инверсия, “изот.” – изотермия, “конв.” – конвекция (обозначения в скобках – при снежном покрове).

2. Под термином “утро” принимается период времени в течение двух часов после восхода солнца, под термином “вечер” – в течение двух часов после захода солнца. Период от восхода до захода солнца, за вычетом двух утренних часов – день; а период захода солнца до восхода, за вычетом двух вечерних часов – ночь.

3. В расчетах скорость ветра и степень вертикальной устойчивости воздуха принимаются на момент аварии.

*Таблица 3* Значение коэффициента  $K_4$  в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$K_4$	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68

*Таблица 4* Значение коэффициента  $K_6$  в зависимости от времени, прошедшего после начала аварии

Время, прошедшее после начала аварии, ч	1	2	3	4
$K_6$	1	1,74	2,41	3,03

**Примечание.** При времени после начала аварии  $N > 4$  ч значения коэффициента  $K_6 = N^{0,6}$ .

*Таблица 5* Глубины зон возможного заражения СДЯВ, км

Скорость ветра, м/с	Количество СДЯВ, т															
	0,1	0,5	1	3	6	10	20	30	50	70	100	300	500	700	1000	2000

1	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,23	81,91	166	231	288	363	572
2	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,85	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121	150	189	295
3	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	104	130	202
4	0,59	1,33	1,88	3,25	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	81,17	101	157
5	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	67,15	83,60	129
6	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	56,72	71,70	110
7	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	50,93	63,16	96,30
8	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	45,79	56,70	86,20
9	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39	34,24	41,76	51,60	78,30
10	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,48	8,50	10,23	12,54	23,49	31,61	38,50	47,53	71,90
11	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91	29,44	35,81	44,15	66,62
12	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85	5,94	7,67	9,07	11,06	20,58	27,61	33,55	41,30	62,20
13	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45	26,04	31,62	38,90	58,44
14	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46	24,69	29,95	36,81	55,20
15	0,31	0,69	0,97	1,68	2,10	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60	23,50	28,48	34,98	52,37

**Примечания:** 1. При скорости ветра более 15 м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 15 м/с.

2. При скорости ветра менее 1 м/с размеры зон заражения принимать как при скорости ветра 1 м/с.

Таблица 6 Возможные потери рабочих, служащих и населения от СДЯВ в зоне заражения, %

Условия нахождения людей	Без противогазов	Обеспеченность людей противогазами								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
На открытой местности	90; 100	75	65	58	50	40	35	25	18	10
В простейших укрытиях, зданиях	50	40	35	30	27	22	18	14	9	4

**Примечание.** Ориентировочная структура потерь людей в зоне заражения составит: легкой степени –25 %, средней и тяжелой степени (с выходом из строя не менее чем на 2j 3 недели и нуждающихся в стационарном лечении) – 40 %, со смертельным исходом –35 %.

## Приложение 2

Таблица 1 Предельные расстояния при различных значениях избыточного

давления от взрыва горючевоздушной смеси при массе дизельного топлива 1000 т

Избыточное давление $D P_{\phi}$ , кгс/см <sup>2</sup>	3	2	1	0,5	0,3	0,2	0,1
Расстояние от центра взрыва ГВС R, м	320	380	520	760	1040	1340	1920

Таблица 2 Избыточное давление  $D P_{\phi}$ , кгс/см<sup>2</sup>, во фронте ударной волны, вызывающее разрушение зданий и основных сооружений железной дороги

Здания, сооружения и устройства	Разрушения		
	слабое	среднее	сильное
Железнодорожный путь	1j 1,5	1,5j 3	3j 5
Мосты с металлическими пролетными строениями длиной:			
до 45 м	0,5j 1	1j 2	2j 2,5
100 м и более	0,4j 0,6	0,6..1	1j 1,5
Мосты железобетонные с пролетным строением длиной 20..25 м	0,5j 1	1j 2	2j 3
Мосты деревянные	0,2j 0,5	0,5j 0,8	0,8j 1

Здания с металлическим каркасом	0,1j 0,3	0,3j 0,4	0,4j 0,6
Здания кирпичные:			
малоэтажные	0,1j 0,15	0,15j 0,25	0,25j 0,35
многоэтажные	0,08j 0,1	0,1j 0,2	0,2j 0,3
Здания деревянные	0,06j 0,08	0,08j 0,12	0,12j 0,2
Подстанции (трансформаторные, тяговые)	0,1j 0,3	0,3j 0,6	0,6j 0,7
Водонапорные башни	0,1j 0,3	0,3j 0,6	0,6j 0,7
Воздушные линии связи, контактная сеть	0,2j 0,5	0,5j 0,7	0,7j 1,2
Подземные кабельные линии	2j 3	3j 6	6j 10
Подземные линии водопровода, канализации, газопровода	4j 6	6j 10	10..20

Окончание табл. 2

Здания, сооружения и устройства	Разрушения		
	слабое	среднее	сильное
Станочное оборудование депо и мастерских, подъемно-транспортное оборудование	0,1j 0,2	0,2j 0,6	0,6j 0,7
Кузнечно-прессовое оборудование	0,5..1	1j 1,5	1,5j 2
Вагоны, платформы, цистерны	0,2j 0,4	0,4j 0,6	0,6j 0,9

Локомотивы	0,5j 0,7	0,7j 1	1j 1,5
Автомобили:			
грузовые	0,2j 0,4	0,4j 0,5	0,5j 0,6
легковые	0,1j 0,2	0,2j 0,45	0,45j 0,65

**Примечания:** 1. Полное разрушение сооружений наступает при избыточных давлениях, превышающих верхнюю границу  $D P_{\phi}$  для сильных разрушений.

2. Данные приведены для подвижного состава, расположенного боковой стороной к центру взрыва, при расположении к центру взрыва торцевой его стороной подвижной состав выдерживает избыточное давление в 1,5j 2 раза больше.

3. За предел устойчивости сооружений принимается нижняя граница  $D P_{\phi}$  для средних разрушений.

*Таблица 3* Расстояние от центра взрыва до точек с заданным избыточным давлением во фронте ударной волны, км, при взрыве 1000 т ВВ

Избыточное давление, кгс/см <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0
Расстояние, км	1,12	0,69	0,54	0,44	0,4	0,36	0,32	0,28	0,2

Предельные расстояния при различных значениях избыточного давления от взрыва горючезвоздушной смеси при массе дизельного топлива 1000 т

Избыточное давление $P_{\phi}$ , кгс/см <sup>2</sup>	3	2	1	0,5	0,3	0,2	0,1
Расстояние от центра взрыва ГВС R, м	320	380	520	760	1040	1340	1920

Избыточное давление  $P_{\phi}$ , кгс/см<sup>2</sup>, во фронте ударной волны, вызывающее разрушение зданий и основных сооружений железной дороги

Здания, сооружения и устройства	Разрушения		
	слабое	среднее	сильное
Железнодорожный путь	1... 1,5	1,5... 3	3... 5
Мосты с металлическими пролетными строениями длиной:			
до 45 м	0,5... 1	1... 2	2... 2,5
100 м и более	0,4... 0,6	0,6..1	1... 1,5
Мосты железобетонные с пролетным строением длиной 20..25 м	0,5... 1	1... 2	2... 3
Мосты деревянные	0,2... 0,5	0,5... 0,8	0,8... 1
Здания с металлическим каркасом	0,1... 0,3	0,3... 0,4	0,4... 0,6
Здания кирпичные:			
малозэтажные	0,1... 0,15	0,15... 0,25	0,25... 0,35
многоэтажные	0,08... 0,1	0,1... 0,2	0,2... 0,3
Здания деревянные	0,06... 0,08	0,08... 0,12	0,12... 0,2
Подстанции (трансформаторные, тяговые)	0,1... 0,3	0,3... 0,6	0,6... 0,7
Водонапорные башни	0,1... 0,3	0,3... 0,6	0,6... 0,7
Воздушные линии связи, контактная сеть	0,2... 0,3	0,5... 0,7	0,7... 1,2

	0,5		
Подземные кабельные линии	2... 3	3... 6	6... 10
Подземные линии водопровода, канализации, газопровода	4... 6	6... 10	10..20

Окончание табл. 2

Здания, сооружения и устройства	Разрушения		
	слабое	среднее	сильное
Станочное оборудование депо и мастерских, подъемно-транспортное оборудование	0,1... 0,2	0,2... 0,6	0,6... 0,7
Кузнечно-прессовое оборудование	0,5..1	1... 1,5	1,5... 2
Вагоны, платформы, цистерны	0,2... 0,4	0,4... 0,6	0,6... 0,9
Локомотивы	0,5... 0,7	0,7... 1	1... 1,5
Автомобили:			
грузовые	0,2... 0,4	0,4... 0,5	0,5... 0,6
легковые	0,1... 0,2	0,2... 0,45	0,45... 0,65

**Примечания:** 1. Полное разрушение сооружений наступает при избыточных давлениях, превышающих верхнюю границу  $\square P_{\phi}$  для сильных разрушений.

2. Данные приведены для подвижного состава, расположенного боковой стороной к центру взрыва, при расположении к центру взрыва торцевой его стороной подвижной состав выдерживает избыточное давление в 1,5  $\square$  2 раза больше.

3. За предел устойчивости сооружений принимается нижняя граница  $\square P_{\phi}$  для средних разрушений.

Таблица 3

Расстояние от центра взрыва до точек с заданным избыточным давлением во фронте ударной волны, км, при взрыве 1000 т ВВ

Избыточное давление, кгс/см <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0
Расстояние, км	1,12	0,69	0,54	0,44	0,4	0,36	0,32	0,28	0,2

### Значения коэффициентов ослабления

Масса ограждающих конструкций, кгс/м <sup>2</sup>	Кратности ослабления на радиоактивно зараженной местности		
	стенной K <sub>ст</sub> (первичное излучение)	перекрытием K <sub>пер</sub> (первичное излучение)	перекрытием подвала K <sub>п</sub> (вторичное излучение)
150	2	2	7
200	4	3,4	10
250	5,5	4,5	15
300	8	6	30
350	12	8,5	45
400	16	10	70
450	22	15	100
500	32	20	160
550	45	26	220
600	65	38	350
650	90	50	600
700	120	70	800
800	250	120	2000
900	500	220	4500
1000	1000	400	10000
1100	2000	700	□ 10000
1200	4000	1100	□ 10000

**Примечание.** Для промежуточных значений массы 1 м<sup>2</sup> ограждающих конструкций K<sub>ст.</sub>, K<sub>пер.</sub>, K<sub>п</sub> следует принимать по интерполяции.

Таблица 2

### Значения коэффициента V<sub>1</sub>

Высота помещения, м	Коэффициент $v_1$ в зависимости от ширины помещения (здания), м					
	3	6	12	18	24	30
2	0,06	0,16	0,24	0,33	0,38	0,6
3	0,04	0,09	0,19	0,27	0,32	0,47
6	0,02	0,03	0,09	0,16	0,2	0,34
12	0,01	0,02	0,05	0,06	0,09	0,15

**Примечания:** 1. Для промежуточных значений ширины и высоты помещений коэффициент  $V_1$  принимается интерполяцией.

2. Для заглубленных в грунт или обсыпанных сооружений высоту помещений следует принимать до верха обсыпки.

Таблица 3

Значения коэффициента  $K_m$

Место расположения укрытия	Коэффициент $K_m$ при ширине зараженного участка, примыкающего к зданию, м							
	5	10	20	30	40	60	100	300
На первом или подвальном этаже	0,45	0,55	0,65	0,75	0,8	0,85	0,9	0,98
	0,2	0,25	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
На высоте второго этажа								

## Приложение 4

Таблица 1

Сравнительная характеристика параметров при воздействии ЧС

Избыточное давление, кПа	Свыше 50	30 □ 50	20 □ 30	10 □ 20	менее 10
Землетрясение, баллы	11 □ 12	9 □ 10	7 □ 8	5 □ 6	4 □ 5
Ураган (баллы) при скорости ветра, м/с	17 □ 70	16 □ 17 50 □ 70	14 □ 15 30 □ 50	12 □ 13 25 □ 30	9 □ 11 □ 25
Степень разрушения зданий	Полные	Сильные	Средние	Слабые	Легкие

Таблица 2

Высота сплошного завала, м, в зависимости от плотности застройки и этажности зданий

Плотность застройки, %	Этажность							
	1	2	3	4	5	6	7	8
20	0,3	0,6	1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
25	0,4	0,7	1,2	1,6	1,9	2,3	2,4	2,6
30	0,5	0,9	1,5	1,9	2,2	2,8	2,9	3,1
40	0,6	1,2	2	2,5	3	3,7	3,8	4,2
50	0,8	1,5	2,5	3,1	3,8	4,6	4,8	5,2

60	0,9	1,7	3	3,8	4,5	5,6	5,8	6,2
----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-----

## Приложение 5

Таблица 1

Значения коэффициента  $a$  для определения доз радиации, получаемых при пребывании людей на зараженной местности

Начало облучения после взрыва, ч	Продолжительность пребывания на зараженной местности, ч									
	0,5	1	2	3	4	6	8	12	24	48
0,5	1,5	0,85	0,62	0,55	0,48	0,43	0,4	0,35	0,31	0,3
1	2,5	1,5	1	0,82	0,72	0,61	0,55	0,5	0,41	0,4
2	5,2	3	1,7	1,3	1,2	0,92	0,82	0,7	0,58	0,5
3	8	4,5	2,6	1,3	1,5	1,3	1,2	0,9	0,7	0,6
4	11	6	3,3	2,3	2	1,5	1,3	1,2	0,8	0,65
5	14	7,5	4	3,6	2,4	1,8	1,5	1,3	0,9	0,72
6	17	9	5	3,5	2,8	2,1	1,7	1,5	1	0,8
7	20	11	6	4,2	3,2	2,5	2	1,6	1,2	0,85
8	22	12	6,7	4,8	3,8	2,8	2,2	1,7	1,3	0,9
9	25	14	7,7	5,5	4,2	3,1	2,4	1,8	1,4	0,98
10	30	15	8,7	6,2	5	3,5	2,7	2	1,5	1,0
12	33	17	10	7,2	5,8	4	3,2	2,5	1,6	1,2
18	50	32	17	12	9	6,8	5	3,7	2,2	1,5
24	75	45	22	16	12	9	6,8	5	3	1,7
36	120	70	35	25	18	15	10	7	4	2,3
48	160	95	48	36	27	20	15	10	5,8	3,0

72	215	145	75	57	43	31	23	15	8,4	4,2
----	-----	-----	----	----	----	----	----	----	-----	-----

Таблица 2

Коэффициенты пересчета уровня радиации, измеренного в различное время после взрыва, на уровень радиации на 1 ч после взрыва

Время после взрыва, ч	$K_n = \frac{P_1}{P_t}$	Время после взрыва, ч	$K_n = \frac{P_1}{P_t}$	Время после взрыва, ч	$K_n = \frac{P_1}{P_t}$
0,5	0,43	3,0	3,74	12,0	19,72
1,0	1,00	4,0	5,28	24,0	45,31
1,5	1,63	5,0	6,90	48,0	104,10
2,0	2,30	6,0	8,59	72,0	169,30
2,5	3,00	7,0	10,33	96,0	239,20

Таблица 3 Остаточные дозы облучения

Время после облучения, недели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Остаточное облучение, %	90	75	60	50	42	35	30	25	20	17	15	13	11	10

## Окончание прил. 5

Таблица 4 Средние значения коэффициентов ослабления дозы радиации  $K_{осл}$  защитными средствами

Укрытия и защитные средства	$K_{осл}$
Автомобили, автобусы, трамваи	2

Крытые грузовые вагоны	1,7
Пассажирские вагоны	2,3
Локомотивы: электровозы магистральные	3,5
тепловозы магистральные	3,0
тепловозы маневровые	2,5
Бульдозеры	4
Убежища	1000 и более
Перекрытые щели	40–50
Здания производственные одноэтажные	7
Здания производственные и административные 3-этажные	6
Стрелочные посты каменные	5
Одноэтажные деревянные дома	2–3
Подвалы одноэтажных деревянных домов	7
Двухэтажные дома деревянные	8
Подвалы двухэтажных деревянных домов	12
Жилые одноэтажные каменные дома	10
Подвалы одноэтажных каменных домов	40
Подвалы двухэтажных каменных домов	100
Двухэтажные каменные дома	15–20
Многоэтажные дома	70

Таблица 5 Доля дозы радиации за время облучения, в процентах от дозы, накапливаемой в течение суток с момента радиоактивного заражения

Время заражения после	Продолжительность облучения, ч																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24

взрыва,																	
t <sub>зар.</sub> Ч																	
0,5	37	52	61	67	71	74	77	79	81	83	87	90	92	94	96	98	100
1	30	43	53	60	65	68	72	75	77	80	84	87	90	93	95	98	100
2	20	33	42	50	57	62	66	70	73	76	81	84	87	91	94	97	100
4	15	26	35	42	49	55	60	64	67	72	77	82	85	89	93	96	100
8	12	20	28	35	40	45	50	55	59	63	70	76	81	86	90	95	100
12	10	18	24	30	36	41	46	51	56	60	67	73	79	84	89	94	100
20	7	13	19	25	30	35	40	45	49	53	61	69	75	81	87	94	100