



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Безопасность технологических процессов  
и производств»

## **Практикум** по дисциплине

# **«Безопасность жизнедеятельности» Часть 2**

Авторы  
Пушенко С.Л.,  
Филь Е.С.

Ростов-на-Дону, 2017

## Аннотация

Состоит из 8 практических работ по безопасности труда. Приводятся требования к порядку выполнения и оформлению практических работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

Предназначено для студентов всех специальностей и направлений подготовки очной и заочной форм обучения, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности».

## Авторы

д.т.н., профессор  
зав. кафедрой «БТПиП»

Пушенко С.Л.

ст. преподаватель  
кафедры «БТПиП»

Филь Е.С.



## Оглавление

<b>1. ТРЕБОВАНИЯ К ПОРЯДКУ ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ.....</b>	<b>6</b>
<b>2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ».....</b>	<b>7</b>
2.1. Цель работы.....	7
2.2. Общие сведения.....	7
2.3. Нормативные требования.....	13
2.4. Расчетная часть.....	15
2.5. Контрольные вопросы.....	23
<b>3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ВЫБОР И РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ».....</b>	<b>25</b>
3.1. Цель работы.....	25
3.2. Общие сведения.....	25
3.3. Расчетная часть.....	29
3.4. Контрольные вопросы.....	36
<b>4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА СВЕТИЛЬНИКОВ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ».....</b>	<b>37</b>
4.1. Цель работы.....	37
4.2. Общие сведения.....	37
4.3. Виды источников света и осветительных приборов.....	40
4.4. Расчетная часть.....	43
4.5. Контрольные вопросы.....	53
<b>5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ».....</b>	<b>55</b>
5.1. Цель работы.....	55
5.2. Общие сведения.....	55

5.3. Требования к защите электрических сетей и аппаратам защиты .....	64
5.4. Расчетная часть.....	67
5.5. Контрольные вопросы.....	78
<b>6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ» .....</b>	<b>80</b>
6.1. Цель работы .....	80
6.2. Общие сведения .....	80
6.3. Нормативные требования .....	84
6.4. Расчетная часть.....	85
6.5. Оценка результатов расчетов и выводы по работе .....	91
6.6. Рекомендации по снижению последствий взрывов .....	91
6.7. Контрольные вопросы.....	92
<b>7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ»... ..</b>	<b>93</b>
7.1. Цель работы .....	93
7.2. Общие сведения и нормативные требования	93
7.3. Расчетная часть.....	97
7.4. Рекомендации по категорированию помещений и зданий .....	106
7.5. Контрольные вопросы.....	106
<b>8. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ» .....</b>	<b>108</b>
8.1. Цель работы .....	108
8.2. Условие задачи.....	108
8.3. План решения задачи: .....	109
8.4. Решение задачи:.....	110
8.5. Расчет путей эвакуации .....	119
8.5. Определение величины противопожарного разрыва .....	127

8.6. Контрольные вопросы.....	129
<b>9. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ».....</b>	<b>131</b>
9.1. Цель работы:.....	131
9.2. Общие сведения .....	131
9.3. Безопасность труда.....	133
9.4. Проект организации строительства.....	135
9.5. Охрана окружающей среды.....	136
9.6. Пожарная безопасность.....	137
9.7. Расчетная часть.....	138
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>140</b>

## 1. ТРЕБОВАНИЯ К ПОРЯДКУ ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Отчеты по практическим работам следует выполнять в отдельной тетради для практических работ, на титульном листе которой указываются: институт; группа; фамилия, имя, отчество студента, номер зачетной книжки. Каждая последующая практическая работа должна начинаться с новой страницы.

Каждый отчет должен содержать:

2. Наименование практической работы.
3. Цель работы.
4. Общие сведения (краткая теория вопроса, нормативные требования, особенности расчета и др.).
5. Исходные данные согласно варианту. Номер варианта выбирается **по указанию преподавателя**.

Расчетная часть (порядок расчета, необходимые таблицы и рисунки **указывает преподаватель**).

**Расчетные формулы следует оформлять следующим образом:**

- рассчитываемый параметр, расчетная формула в символьном виде, подстановка численных значений, ответ, единицы измерения,
- с новой строки – расшифровка символов, входящих в формулу.

Например:

$$I_{ч} = \frac{U_{\phi}}{R_{ч}} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А,}$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение на рассматриваемом участке сети, В;

$R_{ч}$  – сопротивление тела человека, Ом.

6. Выводы о соответствии полученных расчетных параметров нормативным требованиям.

7. Рекомендации (мероприятия по приведению расчетных величин в соответствие с нормативными требованиями). **При необходимости расчеты следует повторить** частично или полностью.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ»

### 2.1. Цель работы

Ознакомление с основными сведениями о звукопоглощающих конструкциях, принципом их действия, нормативными требованиями. Приобретение навыков расчета эффективности звукопоглощения (на примере деревообрабатывающего цеха).

### 2.2. Общие сведения

Уровень шума в изолированном помещении зависит от прямой и отраженной звуковых волн. При невозможности снижения шума самого источника, излучающего прямые звуковые волны, применяют меры к уменьшению энергии отраженных волн. Увеличение площади поглощения называется акустической обработкой помещения, а сам метод борьбы с шумом – **звукопоглощением** [3, 4, 5]. С этой целью на ограждающих конструкциях помещений размещаются звукопоглощающие материалы (акустические плиты) или специальные звукопоглощающие конструкции (звукопоглощающие облицовки).

Способность материалов поглощать падающие на них звуковые волны характеризуется коэффициентом звукопоглощения  $\alpha$ , который представляет собой отношение звуковой энергии  $E_{ног}$ , поглощенной материалом, к энергии на него падающей  $E_{пад}$ :

$$\alpha = \frac{E_{ног}}{E_{пад}}, \quad (2.1)$$

#### 2.2.1. Принцип действия звукопоглощения

Процесс поглощения звуковой волны происходит вследствие преобразования механической энергии, переносимой частицами воздуха, в тепловую за счет потерь на трение в порах материала. Звукопоглощением обладают любые материалы и строительные конструкции. В справочниках коэффициенты звукопоглощения приводятся для среднегеометрических частот октавных полос. В табл. 2.1 приведены коэффициенты звукопоглощения ограждающих конструкций помещений [5, 6].

Звукопоглощающими называют материалы и конструкции, обладающие выраженной способностью поглощать падающую на них звуковую энергию ( $\alpha > 0,2$ ). Иногда, особенно на низких частотах, поглощение звука происходит за счет колебания материала, на который падает звуковая волна.

Эффективность звукопоглощения зависит от физических свойств материала и способа его размещения на ограждающей конструкции (рис. 2.1).

Материалы могут быть прикреплены вплотную к ограждению без перфорированного покрытия (рис.2.1, а) с перфорированным покрытием (рис.2.1, б), с одним (рис.2.1, в, г) или двумя (рис.2.1, д) воздушными промежутками.

Таблица 2.1.

Коэффициенты звукопоглощения ограждающих конструкций помещений

Ограждающие конструкции помещений	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Застекленные оконные переплеты	0,5	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,03
Окна двойные в деревянных переплетах	0,35	0,35	0,29	0,20	0,14	0,10	0,06	0,04
Двери монолитные лакированные	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
Полы:								
– паркетные по асфальту	0,04	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07
– паркетные на шпонах	0,20	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06
– покрытые по твердому основанию метлахской плиткой	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
– бетонные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Стены и потолки:								
– оштукатуренные и окрашенные клеевой краской	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
– оштукатуренные и окрашенные масляной краской	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
– оштукатуренные по металлической сетке	0,02	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06
– бетонные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Стены кирпичные без расшивки швов	0,01	0,015	0,019	0,29	0,28	0,38	0,46	0,46
Стены кирпичные с расшивкой швов	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06



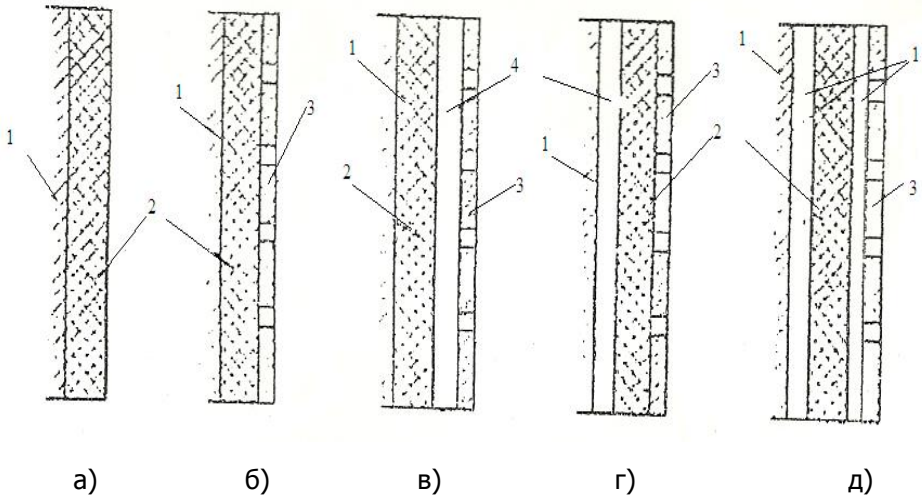


Рис. 2.1. Способы размещения звукопоглощающего материала на ограждающей конструкции: 1 – ограждение; 2 – звукопоглощающий материал;

3 – перфорированное покрытие; 4 – воздушный промежуток

Крепление материала вплотную к ограждению приводит к уменьшению звукопоглощения на низких частотах. Воздушный промежуток увеличивает эффект звукопоглощения. Наибольшее звукопоглощение достигается в случае, когда середина пористого слоя располагается на расстоянии  $\frac{1}{4}$  длины звуковой волны от ограждающей конструкции.

В качестве звукопоглощающих материалов чаще всего используются акустические плиты (табл. 2.2)

Используются также звукопоглощающие облицовки из пористо-волоконистых материалов (см. табл. 2.3).

Для защиты звукопоглощающего материала от повреждений применяются перфорированные покрытия (экраны) [7]. Перфорация выполняется в виде круглых отверстий или щелей.

Характеристикой звукопоглощения ограждающих конструкций является эквивалентная площадь звукопоглощения.

Таблица 2.2.

## Характеристика акустических плит

Марка и характеристика плиты	Толщина плиты, h мм	Воздушный промежуток, d мм	Коэффициент звукопоглощения $\alpha$ в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ПА/О минераловатные акустические с несквозной перфорацией по квадрату диаметром 4 мм (коэффициент перфорации 13%) размерами 500×500 мм	20	0 50	0,02 0,02	0,03 0,05	0,17 0,42	0,68 0,98	0,98 0,90	0,86 0,79	0,45 0,45	0,20 0,19
ПА/С минераловатные акустические, отделка «набрызгом», размерами 500×500 мм	20	0 50	0,02 0,02	0,05 0,12	0,21 0,36	0,66 0,88	0,91 0,94	0,95 0,84	0,89 0,80	0,70 0,65
«Акмигран», «Акминит» минераловатные размерами 300×300 мм	20	0 50	0,02 0,01	0,11 0,20	0,30 0,71	0,85 0,88	0,90 0,81	0,78 0,71	0,72 0,79	0,59 0,65
«Силакпор» размерами 450×450мм	45	0	0,10	0,25	0,45	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95
ПА минераловатные плоские самонесущие офактуренные шириной 500,900, 1000 мм, длиной 1000, 1500, 1800, 2000 мм	40 50	0 180	0,28 0,50	0,43 0,70	0,83 0,85	1,0 0,93	1,0 0,98	0,85 0,95	0,80 0,84	0,75 0,80
«Винипор» полужесткий	50	0 50	0,06 0,12	0,23 0,28	0,46 0,63	0,93 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
ПП-80, ППМ, ПММ звукопоглощающие	50	0 50	0,14 0,2	0,14 0,2	0,52 0,61	0,9 0,9	0,99 0,94	0,42 0,92	0,82 0,78	0,78 0,76

Таблица 2.3.

Характеристика звукопоглощающих облицовок из пористо-волокнистых материалов

Конструкция (ГОСТ или ТУ)	Толщина звукопогл. мат-ла h, мм	Воздушн. промежуток d, мм	Коэффициент звукопоглощения $\alpha$ в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Звукопоглощающий материал – минераловатная плита, защитная оболочка – стеклоткань ЭЗ-100, перфорированное покрытие – гипсоплита 550×500×6 мм, с перфорацией по квадрату 13 % диаметром 10 мм	60	0	(0,1)	0,31	0,70	0,95	0,69	0,59	0,50	0,30
То же, материал – прошивные минераловатные маты	100	0	0,15	0,42	0,81	0,82	0,69	0,58	0,59	0,58
То же, материал – супертонкое стекловолокно	100	0	0,3	0,66	1,0	1,0	1,0	0,96	0,7	0,55
Звукопогл. мат-л – прошивные минераловатные маты, защ. оболочка – стеклоткань ЭЗ-100, перф. покрытие – просечно-вытяжной лист толщиной 2 мм, с перфорацией 74%	100	0	0,11	0,35	0,75	1,0	0,95	0,90	0,92	0,95
То же, материал – минераловатная плита	50	0	0,09	0,18	0,55	1,0	0,86	0,79	0,85	0,85
То же, материал – супертонкое стекловолокно	50	0	0,07	0,25	0,1	0,95	1,0	1,0	1,0	0,95
		250	0,25	0,63	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95
То же, материал – маты из супертонкого базальтового волокна	50	0	0,05	0,25	0,66	0,98	0,99	0,98	0,95	0,95
		100	0,2	0,37	0,9	0,99	1,0	1,0	0,98	0,97
Звукопоглощающий материал – базальтовое волокно, оболочка – стеклоткань типа ЭЗ-100, перфорированное покрытие – металлический перфорированный лист с перфорацией 27%	50	0	0,06	0,2	0,5	0,82	0,9	0,92	0,85	0,64
		50	0,12	0,34	0,69	0,81	0,83	0,89	0,85	0,64
		100	0	0,22	0,51	0,73	0,8	0,88	0,92	0,85
То же, материал – супертонкое стекловолокно	50	0	0,07	0,2	0,47	0,83	0,98	0,91	0,82	0,58
		50	0,09	0,29	0,65	0,94	0,89	0,94	0,81	0,58
		100	0	0,19	0,49	0,81	0,94	0,94	0,9	0,81
Маты из супертонкого стекловолокна, оболочка из стеклоткани ЭЗ-100	50	0	0,1	0,4	0,85	0,98	1,0	0,93	0,97	1,0
Маты из супертонкого базальтового волокна, оболочка из декоративной стеклоткани ТСД	50	0	0,1	0,2	0,9	1,0	1,0	0,95	0,90	0,85
		50	0,15	0,47	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95	0,95

### 2.2.2. Виды звукопоглощающих материалов

Звукопоглощающие материалы и изделия изготавливают следующих видов:

- жесткие и твердые изделия полной заводской готовности (плиты на крахмальном или синтетическом связующем с отделочным фактурным слоем, плиты из ячеистого бетона, гипсовые литые плиты);;
- полужесткие и мягкие изделия полной заводской готовности (плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем с декоративным покрытием, изделия из пенопластов);
- материалы и изделия, применяемые в качестве составных элементов звукопоглощающих конструкций (изделия из минеральной ваты в защитных оболочках, защитные перфорированные покрытия из металла, гипса, защитные оболочки из натуральной и стеклянной тканей, холстов, синтетических пленок)..

Звукопоглощающие материалы и изделия характеризуют следующими акустическими характеристиками и физико-механическими показателями:

- реверберационный коэффициент звукопоглощения;
- нормальный коэффициент звукопоглощения;
- индекс звукопоглощения;
- удельное сопротивление продуванию потоком воздуха

$R_S$ , Па·с/м;

- индекс перфорации, %;
- плотность, кг/м<sup>3</sup>;
- предел прочности при изгибе или сжатии (для жестких и твердых изделий), кПа.

Применяемость акустических характеристик и физико-механических показателей звукопоглощающих материалов и изделий зависит от их вида, функционального назначения, способа установки в конструкциях.

Значения акустических характеристик и физико-механических показателей для материалов и изделий конкретных видов должны быть установлены в стандартах или технических условиях на эти материалы и изделия, исходя из требований к их качеству и эксплуатационным характеристикам [5].

### 2.2.3. Конструктивные решения звукопоглощающих материалов

Звукопоглощающие материалы и изделия должны выпускаться полной заводской готовности или в виде составных элементов, предназначенных для применения в звукопоглощающих конструкциях.

Звукопоглощающие волокнистые материалы и изделия должны изготавливаться плотностью от 20 до 200 кг/м<sup>3</sup>. Диаметр волокон минеральной ваты, применяемой для изготовления звукопоглощающих материалов и изделий, должен быть не менее 1 и не более 20 мкм. Содержание в минеральной вате неволокнистых включений (корольков) размером более 0,25 мм не должно превышать 5 % по массе.

Мягкие и полужесткие звукопоглощающие волокнистые материалы и изделия должны изготавливаться и применяться только с защитными (продуваемыми или непродуваемыми) оболочками, препятствующими высыпанию волокон и пыли (см. табл. 2.3).

Для защиты мягких и полужестких звукопоглощающих волокнистых материалов и изделий от механических повреждений следует применять защитные покрытия (перфорированные или неперфорированные).

Защитные оболочки или защитные покрытия не должны оказывать влияния на звукопоглощающие свойства защищаемого материала (за исключением специальных случаев, оговоренных в стандарте или технических условиях на материал или изделие конкретного вида).

Жесткие волокнистые звукопоглощающие изделия должны иметь декоративное и проницаемое для звуковых волн покрытие в виде фактурного слоя (например, стеклорогожка, тонкая полимерная пленка, напыляемое покрытие и т.п.).

## 2.3. Нормативные требования

При нормировании звукопоглощения основными документами являются ГОСТ 23499-2009 «Материалы и изделия звукоизоляционные и звукопоглощающие строительные. Общие технические условия» [5], а также СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [8].

При нормировании применяются следующие понятия:

**Коэффициент звукопоглощения  $\alpha$**  – отношение неотраженного потока звуковой энергии к потоку звуковой энергии падающего на материал или изделие звука.

### **Реверберационный коэффициент звукопоглощения**

$\alpha_S$  – коэффициент звукопоглощения, измеренный в реверберационной камере при хаотическом падении звука на поверхность звукопоглощающего материала или изделия.

**Нормальный коэффициент звукопоглощения**  $\alpha_n$  – коэффициент звукопоглощения, измеренный в условиях падения звуковой волны под одним углом (по нормали) к поверхности материала или изделия.

**Реверберация** – процесс постепенного затухания звука (спада уровней звукового давления) в закрытых помещениях после прекращения работы источников звука.

**Удельное сопротивление продуванию потоком воздуха**  $R_S$ , Па·с/м – отношение разности давлений воздуха с двух сторон образца пористого материала к линейной скорости потока воздуха через образец.

**Индекс звукопоглощения**  $\alpha_W$  – частотно независимые значения коэффициентов звукопоглощения, соответствующие величине смещенной нормативной кривой на частоте 500 Гц (среднегеометрической частоте октавной полосы).

Звукопоглощающие свойства материалов и изделий характеризуют реверберационным коэффициентом звукопоглощения  $\alpha_S$ , изменяющимся от 0 до 1 в зависимости от частоты звукового сигнала.

Для предварительной оценки звукопоглощающих свойств материалов и изделий допускается применять нормальный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_n$ , изменяющийся от 0 до 1 в зависимости от частоты звукового сигнала.

Для практического применения звукопоглощающие свойства материалов и изделий оценивают одним числом – индексом звукопоглощения  $\alpha_W$ .

В зависимости от значений индекса звукопоглощения  $\alpha_W$  звукопоглощающие материалы и изделия должны быть отнесены к одному из пяти классов (А, В, С, D, Е), указанных в табл.2.4.

Таблица 2.4.

## Классы звукопоглощения

Класс звукопоглощения	Индекс звукопоглощения $\alpha_W$
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15

## 2.4. Расчетная часть

### 2.4.1. Задание по работе

Оценить эффективность звукопоглощения в помещении деревообрабатывающего цеха после облицовки стен и потолка звукопоглощающими материалами.

Исходные данные для выполнения работы согласно номеру варианта, который задает преподаватель, принимают:

- уровни звукового давления в помещении деревообрабатывающего цеха – по табл. 2.5,
- коэффициенты звукопоглощения ограждающих конструкций деревообрабатывающего цеха – по табл. 2.6,
- габаритные размеры ограждающих конструкций помещений деревообрабатывающего цеха – по табл. 2.7.

Таблица 2.5.

Исходные данные: уровни звукового давления

Варианты	Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Уровни звукового давления в помещении деревообрабатывающего цеха L, дБ	93	87	87	84	78	74	72	70
2		92	82	87	85	77	75	73	71
3		94	86	86	85	84	83	75	70
4		93	87	86	81	80	79	76	73
5		94	86	85	85	78	76	73	72
6		92	85	84	86	79	78	78	74
7		91	87	86	81	80	75	73	72
8		91	83	87	83	77	75	73	72
9		91	86	86	86	79	75	74	70
10		92	85	85	85	79	78	75	71

Таблица 2.6.

Исходные данные: коэфф–ты звукопоглощения ограждающих конструкций

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
К–ты звукопоглощения ограждающих конструкций до облицовки $a_{ij}$ :								
стены	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
потолок	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
пол	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,06	0,06	0,07
окна	0,35	0,35	0,29	0,2	0,14	0,1	0,06	0,04
двери	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,07	0,04
К–ты звукопоглощения облицовки (маты из супертонкого стекловолокна толщиной 50 мм) $a_{ij}$	0,1	0,4	0,85	0,98	1,0	0,93	0,97	1,0

Таблица 2.7.

Исходные данные: габаритные размеры ограждающих конструкций

Вариант	Размеры помещения, м			Ворота	Окна
	Длина А	Ширина В	Высота Н	Кол–во × высота × × ширина ( $n \times h_{дв} \times б_{дв}$ )	Кол–во × высота × × ширина ( $m \times h_o \times б_o$ )
1 этаж деревообрабатывающего цеха					
1	144	48	4,5	1×2,95×2,6	2×1,76×226
2	144	24	9	1×2,95×2,9	2×1,76×186
2 этаж деревообрабатывающего цеха					
3	30	12	4,5	1×2,3×1,17	1×1,62×3,05
4	30	12	4,5	1×2,3×0,97	2×1,62×2,45
5	50	12	4,5	1×2,3×0,97	1×1,76×2,36
6	20	12	4,5	1×2×1,17	1×1,76×1,785
7	30	12	4,5	1×2×0,87	2×1,76×1,785
8	30	12	9	1×2,3×1,17	1×1,62×3,05
9	50	12	9	1×2×1,17	2×1,76×1,785
10	20	12	9	1×2×1,17	1×1,76×1,785



### 2.4.2. Расчет эффективности звукопоглощения в помещении деревообрабатывающего цеха после облицовки стен и потолка звукопоглощающими материалами

Превышение уровней звукового давления над допустимым  $\Delta$ , дБ рассчитывается по формуле:

$$\Delta = L - L_{\text{дон}}, \quad (2.2)$$

где  $L$  – уровни звукового давления в помещении деревообрабатывающего цеха, дБ;

$L_{\text{дон}}$  – допустимые уровни звукового давления для всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях, дБ.

Эквивалентная площадь звукопоглощения, определяемая на среднегеометрических октавных частотных по формуле:

$$A_{ij} = a_{ij} \cdot S_i, \quad (2.3)$$

где  $A_{ij}$  – эквивалентная площадь звукопоглощения  $i$ -й ограждающей конструкции на  $j$ -й среднегеометрической октавной частоте,  $\text{м}^2$ ;

$a_{ij}$  – коэффициент звукопоглощения  $i$ -й ограждающей конструкции на  $j$ -й среднегеометрической октавной частоте;

$S_i$  – площадь  $i$ -й ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ .

При оценке эффективности звукопоглощения определяется суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения всех ограждающих конструкций помещения по формуле:

$$A_{ij} = \sum a_{ij} \cdot S_i, \quad (2.4)$$

Снижение шума в помещении за счет звукопоглощения определяется по формуле:

$$\Delta L_j = 10 \cdot \lg\left(\frac{A_2}{A_1}\right), \quad (2.5)$$

где  $\Delta L_j$  – снижение шума на  $j$ -й среднегеометрической октавной частоте, дБ;

$A_1$  – суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения всех ограждающих конструкций помещений до облицовки, определяемая по формуле (2.3), м<sup>2</sup>;

$A_2$  – суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения всех ограждающих конструкций помещений после облицовки, определяемая по формуле (2.3), м<sup>2</sup>.

Ожидаемые уровни звукового давления в деревообрабатывающем цехе после облицовки определяются по формуле:

$$L_{\text{ожид}} = L - \Delta L, \quad (2.6)$$

Исследования и расчеты показывают, что звукопоглощение, как мера защиты от шума, может быть эффективной, если превышение уровней звукового давления над допустимыми составляет не более 8...10 дБ.

### 2.4.3. Порядок выполнения расчета

1. Определить превышения уровней звукового давления в помещении над допустимыми значениями по СН [8]. Для этого

а) В позицию 1 табл.2.8 «Результаты расчета эффективности звукопоглощения» из табл.2.5 выписываем уровни звукового давления  $L$ , дБ, в помещении деревообрабатывающего цеха.

б) В позицию 2 табл.2.8 из санитарных норм СН [8] (табл.2.9) выписываем допустимые уровни звукового давления  $L_{\text{дон}}$  для всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях.

в) На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем  $\Delta$  – превышение уровней звукового давления в помещении над допустимыми значениями по формуле

(2.2) и записываем в позицию 3 табл.2.8:

– на частоте 63 Гц  $\Delta_{63} = 93 - 95$  – превышения нет;

- на частоте 125 Гц  $\Delta_{125} = 87 - 87$  – превышения нет;
- на частоте 250 Гц  $\Delta_{250} = 87 - 82 = 5(\text{дБ})$ ,

2. Определяем площади ограждающих конструкций цеха(помещения): потолка, пола, стен, дверей, окон.

- окна  $S_{ок} = m \cdot h_0 \cdot b_0 = 2 \cdot 1,76 \cdot 226 = 795,5(\text{м}^2)$ ;
- двери

$$S_{дв} = m \cdot h_{дв} \cdot b_{дв} = 1 \cdot 2,95 \cdot 2,6 = 7,67(\text{м}^2)$$

- стены

$$S_{ст} = 2(A + B)H - S_{ок} - S_{дв} = 924,81(\text{м}^2)$$

- потолок  $S_{пот} = A \cdot B = 6912(\text{м}^2)$ ;

- пол  $S_{пол} = A \cdot B = 6912(\text{м}^2)$

3. Определяем эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций цеха(помещения) до облицовки.

а) По формуле (2.3) определяем эквивалентные площади звукопоглощения до облицовки, к примеру, на частоте 63 Гц коэф-

фициент звукопоглощения стен  $a_{ij} = 0,01$ , площадь стены  $S_i = 924,81(\text{м}^2)$

Эквивалентная площадь звукопоглощения стены:

$$A_{ij} = 0,01 \cdot 924,81 = 9,24(\text{м}^2)$$

Запись в табл. удобно представить в виде дроби:

$$A_{ij} = \frac{a_{ij}}{1} \cdot S_i$$

На частоте 63 Гц для стен записываем  $\frac{0,01}{9,24}$ . Результаты

расчетов для стен, потолка, пола, окон и дверей представлены соответственно в позициях 4,5,6,7 и 8 табл.2.8.

Пример расчета эффективности звукопоглощения

№	Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Уровни звукового давления в помещении цеха $L$ , дБ	93	87	87	84	78	74	72	70
2	Допустимые уровни звукового давления на постоянных рабочих местах в производственных помещениях $L_{дон}$ , дБ	95	87	82	78	75	73	71	69
3	Превышение уровней звукового давления над допустимым $\Delta$ , дБ	-	-	5	6	3	1	1	1
До облицовки									
4	Стены $S_{ст}=924,81 \text{ м}^2$	0,01 9,24	0,02 18,5	0,02 18,5	0,02 18,5	0,03 27,7	0,04 36,9	0,04 36,9	0,04 36,9
5	Потолок $S_{пот}=6912 \text{ м}^2$	0,01 69,12	0,01 69,12	0,01 69,12	0,01 69,12	0,02 138,24	0,02 138,24	0,02 138,24	0,02 138,24
6	Пол $S_{пол}=6912 \text{ м}^2$	0,1 691,2	0,1 691,2	0,1 691,2	0,1 691,2	0,08 552,9	0,06 414,7	0,06 414,7	0,07 483,8
7	Окна $S_{ок}=795,52 \text{ м}^2$	0,35 278,4	0,35 278,4	0,29 230,7	0,2 159,1	0,14 111,4	0,1 79,6	0,06 47,7	0,04 31,8
8	Двери $S_{дв}=7,67 \text{ м}^2$	0,1 0,77	0,1 0,77	0,1 0,77	0,1 0,77	0,08 0,61	0,08 0,61	0,07 0,53	0,04 0,31
9	Суммарные эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций до облицовки $A_{ij} = \sum a_{ij} \cdot S_i, A_1 = \sum a_{ij} \cdot S_i \text{ м}^2$	1048,8	1058	1010,3	938,7	830,9	670,02	638,1	691,1
После облицовки									
10	Стены $S_{ст}=924,81 \text{ м}^2$	0,1 92,4	0,4 369,9	0,85 786,1	0,98 906,3	1,0 924,8	0,93 860,1	0,97 897,1	1,0 924,8
11	Потолок $S_{пот}=6912 \text{ м}^2$	0,1 691,2	0,4 2794,8	0,85 5875,2	0,98 6773,8	1,0 6912	0,93 6428,2	0,97 6704,6	1,0 6912
12	Пол $S_{пол}=6912 \text{ м}^2$	0,1 691,2	0,1 691,2	0,1 691,2	0,1 691,2	0,08 552,9	0,06 414,7	0,06 414,7	0,07 483,8
13	Окна $S_{ок}=795,52 \text{ м}^2$	0,35 278,4	0,35 278,4	0,29 230,7	0,2 159,1	0,14 111,4	0,1 79,6	0,06 47,7	0,04 31,8
14	Двери $S_{дв}=7,67 \text{ м}^2$	0,1 0,77	0,1 0,77	0,1 0,77	0,1 0,77	0,08 0,61	0,08 0,61	0,07 0,53	0,04 0,31
15	Суммарные эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций после облицовки $A_{ij} = \sum a_{ij} \cdot S_i, \text{ м}^2$	1754,1	4105,1	7583,9	8531,1	8501,8	7783,1	8064,7	8352,8
16	Снижение шума $\Delta L$ , дБ	2	6	9	10	10	11	11	11
17	Ожидаемые уровни звукового давления в помещении цеха $L_{ожид}$ , дБ	91	81	78	74	68	63	61	59

Таблица 2.9.

Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест (выписка из СН [8])

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБА, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Творческая и научная деятельность, конструирование и проектирование, преподавание, врачебная деятельность: - рабочие места в помещениях дирекции, расчетчиков, лабораториях для теоретических работ, приема больных и т. п.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Высококвалифицированная работа, административно-управленческая деятельность: рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, конторах и т.д.	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3. Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями, требующая слухового контроля, диспетчерская работа: помещения диспетчерских служб и дистанционного управления с речевой связью по телефону, машинописные бюро ит.д.	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4. Работа, требующая сосредоточенности, кабины дистанционного управления без речевой связи по телефону, лаборатории с шумным оборудованием и др.	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5. Все виды работ, кроме указанных в п.п. 1-4, на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятия.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

б) на каждой среднегеометрической октавной частоте определяем суммарные эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций до облицовки  $A_1$  по формуле (2.4).

$$\text{На частоте } 63 \text{ Гц} \\ A_1 = A_{1cm} + A_{1nom} + A_{1пол} + A_{1ок} + A_{1дв} = 1048,8 \text{ (м}^2\text{)}$$

Результаты расчетов представлены в позиции 9 табл.2.8.

4. Определяем эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций цеха(помещения) после облицовки.

а) По формуле (2.3) определяем эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций помещения после облицовки, к примеру, на частоте 63 Гц коэффициент звукопоглощения облицованных стен:

$$A_{ij} = 0,1 \cdot 924,81 = 92,4 \text{ (м}^2\text{)}, \quad \text{площадь стены} \\ S_i = 924,81 \text{ (м}^2\text{)}$$

Так как облицованы только стены и потолок, коэффициенты звукопоглощения окон, дверей, и пола после облицовки не изменились, поэтому остались неизменными эквивалентные площади звукопоглощения этих ограждающих конструкций. Результаты расчетов представлены в позициях 10,11,12,13,14 табл.2.8.

б) На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем суммарные эквивалентные площади звукопоглощения после облицовки по формуле (2.4):

$$A_2 = A_{2cm} + A_{2nom} + A_{2пол} + A_{2ок} + A_{2дв} = 1754,1 \text{ (м}^2\text{)}$$

Результаты расчетов представлены в позиции 15 табл.2.8.

5. Определим снижение шума в помещении:

На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем снижение шума в деревообрабатывающем цехе по формуле (2.5), к примеру, на частоте 63 Гц:

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \left( \frac{1754,1}{1048,8} \right) = 2 \text{ дБ,}$$

Результаты расчетов, округленные до целых значений, представлены в позиции 16 табл.2.8.

б. Определим ожидаемые уровни звукового давления в цехе (помещении) после облицовки по формуле (2.6). К примеру, на частоте 63 Гц:

$$L_{ожид} = 93 - 2 = 91 \text{ дБ},$$

Результаты расчетов представлены в позиции 17 табл.2.8.

#### 2.4.4. Оценка результатов расчетов и выводы по работе

Полученные в результате расчетов ожидаемые уровни звукового давления в помещении деревообрабатывающего цеха следует сравнить:

- с требованиями СН [8];
- с фактическими уровнями звукового давления в помещении деревообрабатывающего цеха.

На основании сравнения сделать выводы и по результатам расчетов представить спектры шума на графике (пример на рис. 2.2).

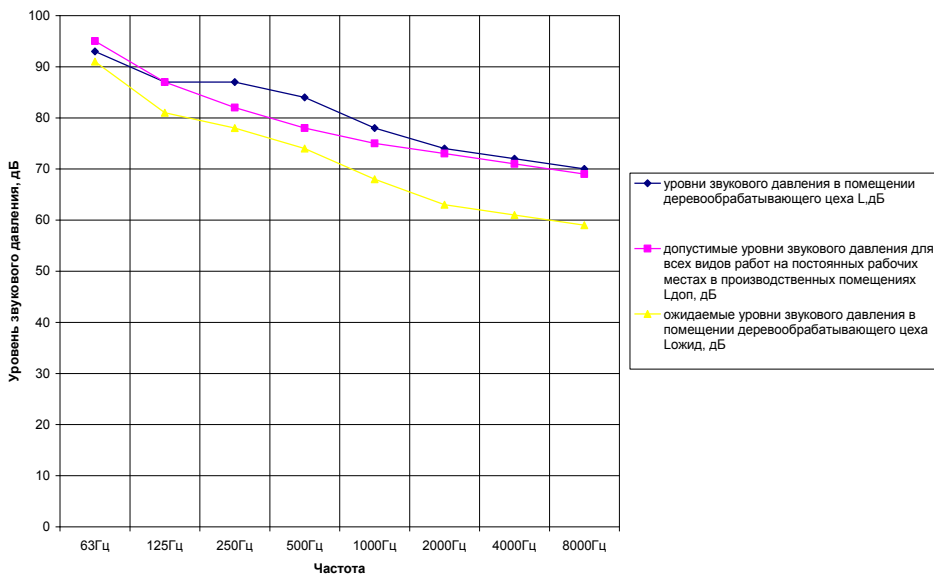


Рис. 2.2. Пример заполнения бланка спектр шума

### 2.5. Контрольные вопросы

1. Что называется звукопоглощением?
2. Принцип действия звукопоглощения.
3. Виды звукопоглощающих материалов.

4. Конструктивные решения звукопоглощающих материалов.
5. Нормативные требования к звукопоглощению.
6. Какими акустическими характеристиками и физико-механическими показателями характеризуются звукопоглощающие материалы?
7. Назовите основные параметры, определяющие звукопоглощение материалов.
8. От чего зависит эффективность звукопоглощения материалов?
9. По какой формуле рассчитывается снижение шума в помещении за счет звукопоглощения?
10. Какие нормативные документы характеризуют звукопоглощение?



### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ВЫБОР И РАСЧЕТ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

#### 3.1. Цель работы

Ознакомление с основными сведениями о вибрации, воздействии вибрации на виброизоляции, конструкцией виброизоляторов, принципом их действия, нормативными требованиями. Приобретение навыков расчета виброизоляторов.

#### 3.2. Общие сведения

Вибрация – механические колебания упругих тел и механических систем, возникающие в результате действия неуравновешенных сил или масс – дисбаланса движущихся и вращающихся частей, ударных воздействий и т.д. Вибрация возникает практически в любой машине или механизме, имеющей подвижные части. Наиболее распространенными источниками вибраций являются:

- возвратно-поступательные движущиеся системы (например, кривошипно-шатунные механизмы, виброинструмент и пр.);
- неуравновешенные вращающиеся массы (например, эксцентрики, кулачковые механизмы и пр.);
- удары из-за наличия зазоров в соединениях, зубчатых и цепных передачах, подшипниках качения.

В строительстве наиболее мощными источниками вибрации является большинство строительных машин, а также компрессоры, насосы, ручной механизированный инструмент и т.д.

##### 3.2.1. Параметры вибрации

Подавляющее большинство вибраций имеет периодический характер, поэтому их характеризуют частотой колебаний  $f$ , Гц, и амплитудой вибросмещения  $A$ , м. Количественные характеристики вибраций – это виброскорость  $V = 2\pi \cdot f \cdot A$ , м/с, и виброускорение

$$a = (2\pi \cdot f)^2 \cdot A, \text{ м/с}^2.$$

На практике абсолютные значения виброскорости и виброускорения изменяются в очень широких пределах (примерно от  $10^{-8}$  до  $10^3$  м/с для виброскорости), поэтому для удобства выполнения вычислений применяются их логарифмические уровни – логарифмический уровень виброскорости ( $L_v$ ) и виброускорения ( $L_a$ ), которые измеряются в децибелах (дБ):

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}}, \text{ дБ} \quad (3.1)$$

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{1 \cdot 10^{-6}}, \text{ дБ} \quad (3.2)$$

где  $V$  и  $a$  – среднеквадратичные значения виброскорости (м/с) и виброускорения (м/с<sup>2</sup>);

$5 \cdot 10^{-8}$  – опорное значение виброскорости, м/с;

$1 \cdot 10^{-6}$  – опорное значение виброускорения, м/с<sup>2</sup>.

Опорными называются значения виброскорости и виброускорения, которые ощущаются человеком как вибрация.

Воздействие вибрации на организм человека, а также вопросы измерения и нормирования подробно рассмотрены в [1, 3, 10], а также в 1-й части учебного пособия [2].

### 3.2.2. Методы защиты от вибрации

Классификация методов защиты от вибрации приведена в ГОСТ [10]. Согласно [10], по отношению к источнику вибрации виброзащита может выполняться снижением параметров вибрации: **в источнике и на путях распространения от источника.**

Методы снижения вибрации **в источнике возникновения** предполагают внесение изменений в конструкцию, режимы работы и другие параметры **самого источника** вибрации. Эти методы применяются при проектировании оборудования и являются предпочтительными. Однако, если снизить значения вибрации в источнике до допустимых значений не удастся, либо вибрация является необходимым компонентом технологического процесса, то применяются методы снижения вибрации **на путях распространения от источника.** Эти методы предполагают использование каких-либо **дополнительных устройств**, предназначенных для целей ослабления вибрации и встраиваемых в конструкцию машин, в строительные конструкции или сооружаемых на путях распространения вибрации. В инженерной практике наиболее часто используются именно эти методы.

При снижении вибрации на путях распространения используются:

1. **Виброизоляция** – это уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем уменьшения передачи

колебаний этому объекту от источника колебаний. Виброизоляция осуществляется посредством введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибраций от источника колебаний (машины, механизма) к основанию или смежным элементам конструкции; эта упругая связь может также использоваться для ослабления передачи вибраций от основания на человека, либо на защищаемый агрегат.

Виброизоляция называется **активной**, если для создания препятствий к передаче вибраций используется дополнительный источник энергии. Пассивная виброизоляция собственного источника энергии не имеет..

2. **Виброгашение** – это уменьшение уровня вибраций защищаемого объекта путем введения в дополнительных реактивных масс,

Чаще всего виброгашение реализуется путем установки агрегатов на самостоятельные фундаменты. Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы амплитуда колебаний подошвы фундамента в любом случае не превышала 0,1—0,2 мм, а для особо ответственных сооружений — 0,005 мм. Для небольших объектов между основанием и агрегатом устанавливают массивную опорную плиту.

3. **Вибропоглощение** – это уменьшение уровня вибраций защищаемого объекта путем превращения энергии колебаний системы в другие виды энергии.

Чаще всего увеличение потерь энергии достигается использованием в конструкции вибрирующих машин и механизмов материалов с большим внутренним трением (резина, пластические массы). При невозможности или нецелесообразности этого способа применяются вибропоглощающие покрытия в виде слоев упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение.

В настоящее время наиболее распространенным и эффективным способом борьбы с вибрацией является **пассивная виброизоляция** в сочетании с применением **виброгасящих оснований**. С ее помощью достигается уменьшение передачи динамической силы от машины к основанию, а также уменьшение вибраций, передаваемых от основания к рабочим местам посредством размещения между ними упругих элементов (виброизоляторов или амортизаторов). Установка машин на упругие опоры практически не ослабляет вибрации самой машины, но уменьшает передачу вибраций на поддерживающую конструкцию и, следовательно, уменьшает вибрацию рабочих мест.

### 3.2.3. Виды и конструкция виброизоляторов

Виброизоляторы делятся на следующие конструктивные типы:

- виброизоляторы из твердых материалов;
- резиновые амортизаторы с деформацией сдвига и сжатия;
- пружинные виброизоляторы;
- пневматические амортизаторы.

**Виброизоляторы из твердых материалов** работают на чистое сжатие и отличаются самой высокой резонансной частотой из-за небольшого прогиба под нагрузкой. Они довольно дешевы и выдерживают очень большие нагрузки, но могут использоваться только для изоляции на звуковых частотах и демпфирования ударов. На рис.3.1 а) показана схема виброизолятора из твердой резины.

**Резиновые амортизаторы с деформацией сдвига и сжатия.** В эту категорию входят резиновые или неопреновые виброизоляторы, представляющие собой формованные листы и прокладки, причем под нагрузкой материал этих виброизоляторов свободно выдавливается по бокам или деформируется под действием сдвигающих нагрузок. В зависимости от конструкции такие виброизоляторы могут обеспечивать собственную частоту системы приблизительно до 5 Гц. Они относительно дешевы и пригодны для высоких частот, поэтому применяются и для звукоизоляции, а также во всех тех случаях, когда не требуется учитывать низкие резонансные частоты.

**Пружинные виброизоляторы.** Являются наиболее распространенным типом виброизоляторов. В качестве пружин чаще всего используются простые спиральные пружины. При правильном сочетании диаметра витка, высоты и диаметра прутка такие пружины отличаются стабильностью необходимых свойств и могут обеспечивать создание резонансных частот системы порядка 2 Гц. Виброизоляторы этого типа могут работать с очень большим сроком службы. Однако спиральные пружины не обладают вибродемпфирующим эффектом. Для демпфирования в этом случае используются дополнительные средства. Недостатком стальных пружин является также хорошая передача звуковой энергии на высоких частотах, которая проходит по прутку спирали и передается далее конструкциям. Этот недостаток часто устраняется с помощью резиновых прокладок, которые исключают контакт металла с металлом.

На рис.3.1 б) показана схема пружинного виброизолятора. Виброизолятор состоит из цилиндрической пружины 1, к торцевым

виткам которой жестко прикреплены штампованные пластины 2. К нижней пластине–основанию, приклеена резиновая прокладка 5 (назначение см. выше). При монтаже под болты нижней пластины устанавливаются стальные шайбы 3 и резиновые прокладки 4. Виброизолятор имеет низкую собственную частоту (2–3 Гц), что позволяет изолировать оборудование с низкими частотами возбуждающих сил с эффективностью до 90%.

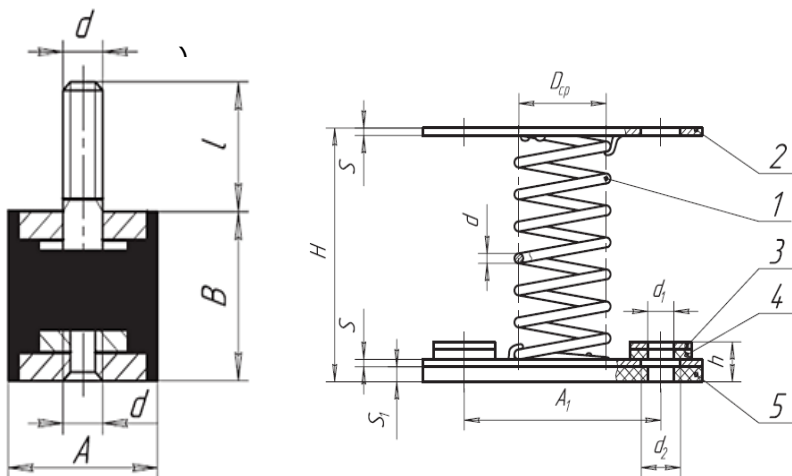


Рис. 3.1. Схемы виброизоляторов:  
а) резинового, б) пружинного (позиции в тексте)

**Пневматические амортизаторы** представляют собой пневматическую подушку, заполненную воздухом, которая действует, как пружина между двумя частями машины или устройства. Путем регулирования давления воздуха в подушке можно существенно изменять её упругие характеристики. Используя пневматические опоры особой конструкции, можно получить собственные частоты системы до 1 Гц.

### 3.3. Расчетная часть

#### 3.3.1. Задание по работе

Рассчитать акустическую виброизоляцию центробежного вентилятора, установленного на перекрытии из легкого железобетона ( $G = 300 \text{ кг/м}^2$ ) в здании офиса категории Б (по [12]). Вентилятор динамически отбалансирован.

Исходные данные для выполнения работы согласно номеру варианта, который задает преподаватель, принимают по табл.3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные

Вариант	Частота вращения вентилятора $N_{в}$ , об/мин	Частота вращения электродвигателя $N_{э}$ , об/мин	Масса агрегата $M_{а}$ , кг	Общая масса вращающихся частей $M_{вр.ч.}$ , кг
1	600	900	1000	250
2	1000	1300	1400	350
3	900	1200	1100	300
4	450	900	900	280
5	1300	1850	800	200
6	800	1300	1200	400
7	1500	3000	1000	250
8	1100	2000	1300	300
9	700	1000	980	200
10	1200	1900	1050	300

### 3.3.2. Порядок выполнения расчетов

1. Определить эксцентриситет вращающихся частей агрегата  $\varepsilon$ , м. Для вентиляторов и насосов можно приближенно принимать:  $\varepsilon = (0,2 - 0,4) \cdot 10^{-3}$  м – при динамической балансировке;  $\varepsilon = (1 - 1,5) \cdot 10^{-3}$  – при статической балансировке. Исходя из частоты вращения вентилятора  $N_{в}$ , определяем по табл. 3.2 максимально допустимую амплитуду смещения центра масс агрегата  $a_{дон}$ , м.

Таблица 3.2

Максимально допустимая амплитуда смещения центра масс агрегата

Частота вращения агрегата, об/мин	200	300	400	500	600	700	900	1200	1500	2000	3000
Максимально допустимая амплитуда смещения центра масс агрегата, $a_{доп}, 10^{-3}, м$	0,22	0,2	0,18	0,16	0,145	0,13	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04

2. По табл. 3.3 определить требуемую эффективность акустической виброизоляции  $\Delta L_{mp}$ , дБ.

3. По графику на рис.3.2 находим допустимую частоту  $f_{дон}$  собственных колебаний в вертикальном направлении виброизолируемого агрегата при размещении его на перекрытии из легкого бетона (кривая «в» на рис.3.2)

4. Определяем общую требуемую массу виброизолируемого агрегата по формуле:

$$M_{mp} \geq \frac{2,5 \cdot \varepsilon \cdot M_{вр.ч.}}{a_{дон}}, \text{ кг} \quad (3.3)$$

Таблица 3.3

Требуемая эффективность акустической виброизоляции

Вид инженерного оборудования	Требуемая эффективность акустической виброизоляции $\Delta L_{тр.}, \text{дБ}$
Центробежные компрессоры	30
Поршневые компрессоры мощностью, кВт	
до 11	17
от 15 до 44	20
от 55 до 110	26
Встроенные трансформаторы	28
Автономные кондиционеры*	20
Центробежные насосы	26
Лифтовые лебедки	24
Крышные котельные*	23
Центробежные вентиляторы с частотой вращения, $N, \text{об/мин}$	
более 800	26
от 500 до 800	20-26
от 350 до 500	17-20
от 200 до 350	11-17

5. Если общая масса агрегата  $M_a$  меньше требуемой, необходимо увеличить ее до требуемой, например, частичным или полным заполнением внутреннего объема металлической рамы бетоном, или смонтировать агрегат на общей железобетонной (пригрузочной) плите. Если общая масса больше требуемой, следует принять:

$$M_{тр} = M_a, \text{ кг} \quad (3.4)$$

6. Выбрать тип виброизолятора (пружинный или резиновый). При частотах вращения агрегатов менее 1800 об/мин, предпочтительно применять пружинные виброизоляторы; при частотах вращения 1800 об/мин и более допускается применение также и резиновых виброизоляторов. Стальные виброизоляторы долговечны и надежны в работе, но они недостаточно снижают передачу вибраций высоких частот. Резиновые виброизоляторы эффективно



снижают высокие частоты, но они обладают недостаточной виброизоляцией на низких частотах, и, кроме того, недостаточно долговечны.

7. Предварительно выбрать количество виброизоляторов  $n$
8. Определить статическую нагрузку на один виброизолятор  $P_{cm}$ , Н, по формуле

$$P_{cm} = \frac{M_{mp} \cdot g}{n}, \text{ Н} \quad (3.5)$$

где  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  
 $n$  – количество виброизоляторов.

9. Определить расчетную максимальную нагрузку на один виброизолятор по формуле:

$$P_{cm.pасч.} = P_{cm} + 1,5 \frac{4\pi^2 \cdot f \cdot a_{дон}}{10 \cdot g} \cdot P_{cm}, \text{ Н} \quad (3.6)$$

где  $f$  – основная расчетная частота вынуждающей силы агрегата, Гц. Определяется по частоте вращения вентилятора  $N_e$  (исходные данные).

10. Определить требуемую суммарную жесткость виброизоляторов в вертикальном направлении  $K_{zmp}$  по формуле

$$K_{zmp} = 4 \cdot \pi^2 \cdot f_{zдор}^2 \cdot M_{mp}, \text{ Н/м} \quad (3.7)$$

где  $f_{zдор}$  – допустимая частота собственных колебаний виброизолированного агрегата в вертикальном направлении, определенная по графику на рис.3.2, Гц;

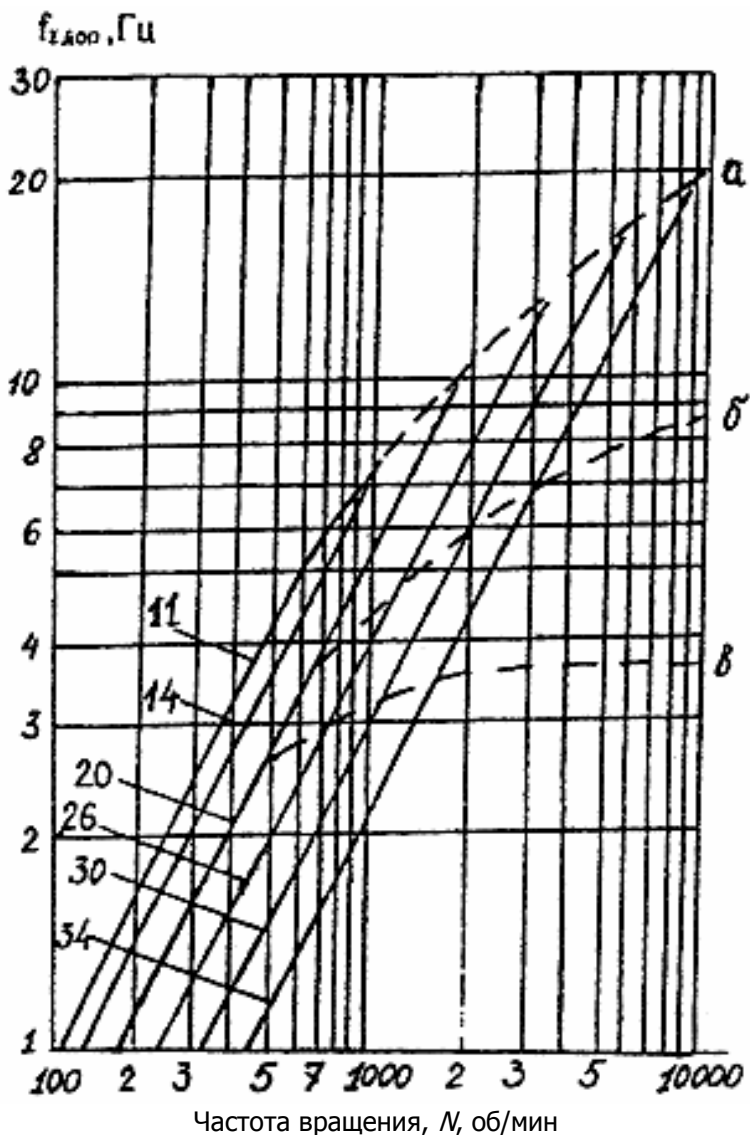


Рис. 3.2. Допустимая частота собственных вертикальных колебаний виброизолированного агрегата  
 а – подвальные этажи; б – тяжелые железобетонные перекрытия ( $G \geq 500$  кг/м<sup>2</sup>); в – легкие бетонные перекрытия ( $500 > G > 200$  кг/м<sup>2</sup>); (цифры внутри графика указывают требуемую эффективность виброизоляции  $\Delta L_{тр}$ , дБ).

11. Определить требуемую жесткость одного виброизолятора  $k_{zmp}$  в вертикальном направлении по формуле:

$$k_{zmp} = \frac{K_{zmp}}{n}, \text{ Н/м} \quad (3.8)$$

12. По нагрузке  $P_{\max.расч}$  и  $k_{zmp}$  пользуясь табл.3.4, выбрать тип виброизолятора и определить для него  $P_{\max}$  и  $k_z$ .

Таблица 3.4

Виброизоляторы ДО

Обозначение	Максимальная рабочая нагрузка, $P_{\max}$ , Н	Собственная частота вертикальных колебаний агрегата $f$ , Гц, при $P_{\max}$	Жесткость в вертикальном направлении, $k_z$ , кН/м	Высота $h$ в свободном состоянии, мм	Осадка пружины, мм, под максимальной рабочей нагрузкой $P_{\max}$ , Н	$D_{сп}$ , мм
ДО38	122	3	4,5	72	27	30
ДО39	219	2,7	6,1	92,5	36	40
ДО40	339	2,5	8,1	113	41,7	50
ДО41	540	2,4	12,4	129	43,4	54
ДО42	942	2,1	16,5	170	57,2	72
ДО43	1648	2,1	29,4	192	56	80
ДО44	2384	1,9	35,7	226	66,5	96
ДО45	3728	1,8	44,2	281	84,5	120

13. Проверить, удовлетворяет ли выбранный тип виброизолятора неравенствам:

$$P_{\max} \geq P_{\max.расч}, \text{ Н} \quad (3.9)$$

$$k_z \leq k_{zmp}, \text{ Н/м} \quad (3.10)$$

Если эти условия не соблюдаются, выбрать другой тип виброизоляторов.

14. Определить собственную частоту колебаний виброизолированного агрегата в вертикальном направлении по формуле:

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_z \cdot g}{P_{cm}}}, \text{ Гц} \quad (3.11)$$

15. Определяем величину эффективности акустической виброизоляции  $\Delta L$  по формуле:

$$\Delta L = 20 \lg \left| \frac{f^2}{f_z^2} - 1 \right| > \Delta L_{mp}, \text{ Гц} \quad (3.12)$$

Эффективность виброизоляции должна соответствовать требованиям табл. 3.3.

### 3.4. Контрольные вопросы

1. Что называется вибрацией? Источники вибрации.
2. Основные параметры вибрации.
3. Укажите методы защиты от вибрации.
4. Виды и конструкция виброизоляторов.

## 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА СВЕТИЛЬНИКОВ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ»

### 4.1. Цель работы

Ознакомление с основными сведениями о производственном освещении, видах осветительных приборов, нормативными требованиями. Приобретение навыков расчета методов светотехнического электрического освещения.

### 4.2. Общие сведения

Освещенность – поверхностная плотность светового потока, определяется как отношение светового потока  $dF$  к площади освещаемой поверхности  $dS$ , люкс (лк):

$$E = dF/dS \quad (4.1)$$

Проектирование производственного освещения принято делить на три части: светотехническую, электрическую и сметно-экономическую. Основными задачами светотехнической части являются выбор системы и вида освещения, светильников и источников света, определение их рационального количества, мощности, светораспределения и размещения на строительной площадке и в производственных зданиях.

Электрическое освещение строительных площадок и участков внутри зданий осуществляется установками общего равномерного или локализованного освещения, а местное освещение – инвентарными стойками или переносными приборами. Общее равномерное освещение строительных площадок должно быть не менее 2 лк. Если требуемая по нормативным документам освещенность  $E_n > 2$  лк, то к общему равномерному освещению устраивается дополнительно локализованное освещение (табл. 4.1).

Таблица 4.1.  
 Нормы освещенности участков строительных площадок и работ (по ГОСТ 12.1.046-85\* Нормы освеще-  
 ния строительных площадок [3])

№	Участки строительных площадок и работ	Освещенность, лк	Плоскость нормирования освещенности	Уровень поверхности, на которой нормируется освещенность
1	2	3	4	5
1	Дорожные работы:			
	укладка оснований под дорожные покрытия	10	Гор.	На уровне земли
	устройство дорожных покрытий; укладка железнодорожных и подкрановых путей	30	То же	То же
2	Погрузка, установка, подъем, разгрузка оборудования, строительных конструкций, деталей и материалов грузоподъемными кранами	10	То же	На площадках приема и подачи оборудования, конструкций деталей и материалов
3	Сборка и монтаж строительных и грузоподъемных механизмов:			
	сборка с пригонкой частей (валов, вкладышей, подшипников), разные виды регулировки, смена деталей и т.д.	50	Гор.	По всей высоте сборки
	монтаж передаточных подвижных частей (цепей, тросов, блоков)	30	Гор.	По всей высоте сборки
		30	Верт.	На всех уровнях, где производится монтаж
4	Земляные работы, производимые сухим способом землеройными и другими механизмами, кроме устройства траншей и планировки	10	Верт.	По всей высоте забоя и по всей высоте разгрузки (со стороны машиниста)
		5	Гор.	
5	Устройство траншей для фундаментов, коммуникаций и т.д.	10	Гор.	На уровне дна траншеи
		10	Верт.	По всей высоте траншеи
6	Разработка грунта бульдозерами, скреперами, катками и др.	10	Гор.	На уровнях обрабатываемых площадок
7	Буровые работы, забивка свай	10	Верт.	По всей высоте выемки или свай
8	Монтаж конструкций стальных, железобетонных и деревянных	30	Гор.	По всей высоте сборки
	(каркасы зданий, мосты, эстакады, фермы, балки и т.д.)	30	Верт.	То же
9	Стационарные сварочные аппараты, механические ножницы, гибочные станки для заготовки арматуры	50	Гор.	На уровне рабочих поверхностей
10	Сборка арматуры (стыковка, сварка, вязка каркасов и т.д.)	30	Гор.	На уровне земли или рабочей поверхности
11	Установка опалубки, лесов и ограждений	30	Гор.	На всех уровнях опалубки, лесов и ограждений
		30	Верт.	То же
12	Бетонирование:			
	колонн, балок, плит покрытий, мостовых конструкций и т.д.	30	Гор.	На поверхности бетона
	крупных массивов (бетонирование откосов земляных плотин и т.д.)	10	То же	То же

1	2	3	4	5
13	Кладка из крупных бетонных блоков, природных камней,	10	Гор.	На уровне кладки
	кирпичная кладка, монтаж сборных фундаментов	10	Верт.	В плоскости стены
14	Подходы к рабочим местам (лестницы, леса и т.д.)	5	Гор.	На опалубках, площадках и подходах
15	Работы по устройству полов:			
	устройство песчаных, щебеночных, гравийных, глинобетонных, бетонных и асфальтобетонных подстилающих слоев;	30	Гор.	На уровне пола в зоне работ
	устройство земляных, щебеночных, гравийных глинобитных и булыжных покрытий из брусчатки	30	То же	То же
	устройство асфальтобетонных, кирпичных, дощатых, бетонных, мозаичных цементно-песчаных, металлоцементных ксилолитовых покрытий и покрытий из кирпича, плиток, настил паркета и линолеума	50	То же	То же
16	Кровельные работы	30	Гор.	В плоскости кровли
		30	Накл.	То же
17	Штукатурные работы:			
	в помещениях	50	Гор.	На всех уровнях рабочей поверхности
		50	Верт.	То же
	под открытым небом	30	То же	То же
		30	Гор.	То же
18	Масляные работы:			
	шпатлевка, грунтовка, окраска, накатка рисунков валиками и т.д.	100	Гор.	На всех уровнях рабочей поверхности
		100	Верт.	То же
	улучшенная и высококачественная окраска	150	То же	То же
		150	Гор.	То же
19	Стекольные работы	75	Верт.	На всех уровнях рабочей поверхности

Для всех строительных площадок и участков, где работы выполняются в темное время суток, предусматривается устройство рабочего освещения. Если требуется охрана строительной площадки, то из рабочего освещения выделяется часть светильников, обеспечивающих горизонтальную на уровне земли или вертикальную на плоскости ограждения охранную освещенность, равную 0,5 лк. Эвакуационное освещение предусматривается в местах основных путей эвакуации, а также в местах прохода, связанных с опасностью травматизма. Эвакуационное освещение внутри строящегося здания должно составлять 0,5 лк, вне здания — 0,2 лк.

### **4.3. Виды источников света и осветительных приборов**

Основные типы источников света и осветительных приборов, рекомендуемых для использования в строительстве, приведены в табл. 4.2.

Технические данные ламп накаливания и дуговых ртутных ламп приведены в табл.4.3, 4.4.



Таблица 4.2.

Типы источников света и осветительных приборов

Место работы	Вид освещения	Ширина стройплощадки, м	Тип осветительного прибора
Производство наружных строительно-монтажных работ	Общее равномерное	До 20 До 150 150...300 Свыше 300	Светильник ЛН то же, ДРЛ Прожекторы ЛН, ДРЛ, ДРИ Светильники ДКСТ, ДНаТ
Производство строительно- монтажных работ внутри здания	Общее равномерное Общее локализованное	Ширина помещений здания 15 м и менее от мест производства работ	Светильники ЛН Светильники ДРЛ, прожекторы ДРЛ, ЛН
Производство строительных и монтажных работ снаружи и внутри зданий	Местное	15 м и менее от мест производства работ	Инвентарные стоки со светильниками и прожекторами ЛН, переносные светильники ЛН
Производство ЖБИ, строительных материалов в заводских зданиях	Общее равномерное и локализованное		Светильники ЛЛ (ЛН, ДРЛ)

Примечание. ЛН — лампа накаливания; ЛЛ — люминесцентная лампа; ДРЛ — дуговая ртутная лампа высокого давления; ДРИ — дуговая ртутная лампа с йодидами; ДКСТ — дуговая ксеноновая трубчатая лампа высокого давления; ДНаТ — дуговая натриевая трубчатая лампа высокого давления

 Таблица 4.3.  
Технические данные ламп накаливания общего назначения

Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток, лм,	Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток, лм
15	В	105	150	Г	2000
25	В	220	150	Б	2100
40	Б	400	200	Г	2800
40	БК	460	200	Б	2920
60	Б	715	300	Г	4600
60	БК	790	500	Г	8300
100	Б	1350	750	Г	13100
100	БК	1450	1000	Г	18600

 Таблица 4.4.  
Технические данные ртутных дуговых ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Световой поток, лм
ДРЛ125	125	125	5600
ДРЛ250	250	130	11000
ДРЛ400	400	135	19000
ДРЛ700	700	140	35000
ДРЛ1000	1000	145	50000

Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на газоразрядные и лампы накаливания. В лампах накаливания видимое излучение получается за счет нагрева электрическим током вольфрамовой нити. В газоразрядных лампах свечение люминофора возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов и паров металлов.

Лампы накаливания имеют широкое распространение в промышленности. Они просты в изготовлении, удобны в эксплуатации, надежны при колебаниях напряжения и метеорологических условий. Их недостатками являются низкая светоотдача (7 - 20 лм/Вт), малым сроком службы (до 2,5 тыс.ч), в их спектре преобладают желтые и красные лучи, что сильно отличается от солнечного света.

В последние годы широко распространены галогеновые лампы – лампы накаливания с йодным циклом, светоотдачей до 40 лм/Вт. Пары вольфрама, испаряющиеся с нити наката, соединяются с йодом, превращаясь в йодистый вольфрам, вновь оседают на вольфрамовую спираль, восстанавливают ее, увеличивая срок службы до 3 тыс. ч. Спектр галогеновых ламп близок к естественному. Газоразрядные лампы бывают низкого давления - люминесцентные и высокого давления. По спектральному составу различают лампы дневного света (ЛД), холодного белого (ЛХБ), теплого белого (ЛГБ), белого (ЛБ), дневного света с улучшенной светоотдачей (ЛДЦ).

Основным недостатком газоразрядных ламп является пульсация светового потока, что может привести к появлению стробоскопического эффекта - искажения зрительного восприятия, когда вместо одного предмета видны несколько. К недостаткам газоразрядных ламп относят длительный период их разгорания, необходимость применения специальных пусковых приспособлений, зависимость работоспособности от температуры окружающей среды.

Газоразрядные лампы высокого давления: ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные); ДРИ (дуговые ртутные с йодидами); ДЛКСТ (дуговые ксеноновые трубчатые) - в основном применяются для освещения территорий предприятий; ДНСТ (дуговые натриевые трубчатые) используются для освещения высоких цехов

При проектировании осветительных приборов вводят в расчет коэффициент запаса, полученный из предположения очистки светильников не реже двух раз в год (табл.4.5).

Образцы светильников для ЛН и ДРЛ показаны в табл. 4.6.

Таблица 4.5.

Значения коэффициентов запаса

Осветительные приборы	Коэффициент запаса для	
	ЛН	Газоразрядных ламп
Прожекторы и другие осветительные приборы с усилением силы света 5 и более:		
Светильники:	1,5	1,7
	1,3	1,5

Таблица 4.6.

Технические данные светильников для производственных помещений

Тип светильника	Номинальная мощность лампы, Вт	Габариты, мм	Защитный угол, град	Масса, кг
С лампой накаливания ЛН:				
«Астра-1» ПСПО1х100/ДОЗ-01	100	208х315	30	1,4
ППД-100	100	170х315	15	1,7
УПД-500	500	372х540	30	1,9
С дуговой ртутной лампой ДРЛ:				
«Астра-3» РСПО1х125/ДОЗ-07	125	310х340	30	7
УПДДРЛ-250	250	372х500	72	13

## 4.4. Расчетная часть

### 4.4.1. Задание по работе

Определить световой поток и запроектировать общее равномерное освещение коридора деревообрабатывающего цеха на 2-м этаже и обеспечить освещение любой точки поверхности.

Исходные данные для расчета приведены в табл.4.7 и 4.8.

#### 4.4.2. Методы светотехнического расчета электрического освещения

В зависимости от способа определения светового потока различают два метода расчета: коэффициента использования и точечный.

Метод коэффициента использования позволяет обеспечить среднюю освещенность поверхности с учетом всех падающих на нее потоков, как прямых, так и отраженных. Его применяют для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей.

Потребный световой поток лампы равен

$$\Phi_{л} = \frac{E_n \cdot A \cdot k \cdot z}{\eta \cdot N}, \text{ лм} \quad (4.2)$$

где  $E_n$  – нормируемая освещенность, лк;

$k$  – коэффициент запаса;

$A$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

$N$  – число светильников;

$\eta$  – коэффициент использования светильников, опреде-

ляют по индексу помещения  $i_n$  и коэффициентам отражения по-

толка, стен, пола ( $\rho_n, \rho_c, \rho_p$ );

$z$  – коэффициент минимальной освещенности, определяют из отношения:

$$z = E_{cp} / E_{\min}, \quad (4.3)$$

Таблица 4.7.

## Исходные данные

№ варианта	Размеры помещения, м			Коэффициент отражения, %		Коэффициент запаса, $K$	$\lambda = L/h$	$h_{св},$ м	$h_{р.п.},$ м	Освещенность, $E$ , лк	Светильник	
	$A$	$B$	$H$	$\rho_n$	$\rho_c$						тип	ИС
1	144	2	4,5	50	30	1,3	0,5	0,5	1,5	500	ЛСП02	ЛЛ
2	144	2	9	50	30	1,3	0,5	0,5	1,5	500	ЛСП02	ЛЛ
3	30	12	4,5	50	30	1,7	0,8	0,6	1,0	100	РСР05	ДРЛ
4	30	12	4,5	30	10	1,7	0,4	0,6	1,0	200	РСР05	ДРЛ
5	50	12	4,5	70	50	1,3	0,5	0,5	1,5	200	ЛСП02	ЛЛ
6	20	12	4,5	30	10	1,5	1	0,4	1,6	100	ПВЛМ	ЛЛ
7	30	12	4,5	70	50	1,3	0,5	0,5	1,5	200	ЛСП02	ЛЛ
8	30	12	9	50	30	1,7	0,9	0,6	1,4	200	РСР05	ДРЛ
9	50	12	9	30	10	1,3	1,2	0,8	1,2	100	ЛСП02	ЛЛ
10	20	12	9	50	30	1,3	0,5	0,7	1,3	150	ПВЛМ	ЛЛ

Таблица 4.8.

## Исходные данные

№ варианта	Размер помещения			Коэффициенты		$e_n, \%$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$r_1$	$\tau_{об}$	$\eta_0$	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$
	$A, м$	$B, м$	$H, м$	$K_з$	$K_{зд}$										
1	144	2	4,5	1,3	1,5	4	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	1,1	0,6	0,4	0,2
2	144	2	9	1,5	1,7	3	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	1,2	0,6	0,4	0,2
3	30	12	4,5	1,5	1,7	2	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	1,7	0,6	0,4	0,2
4	30	12	4,5	1,5	1,7	1	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	3	0,6	0,4	0,2
5	50	12	4,5	1,5	1,7	0,5	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	7	0,6	0,4	0,2
6	20	12	4,5	1,5	1,7	0,2	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	17	0,6	0,4	0,2
7	30	12	4,5	1,5	1,7	0,3	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	12	0,6	0,4	0,2
8	30	12	9	1,5	1,7	0,1	0,9	0,7	0,8	1,15	0,504	20	0,6	0,4	0,2
9	50	12	9	1,4	1,4	4	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	1,2	0,6	0,4	0,2
10	20	12	9	1,4	1,4	3	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	1,5	0,6	0,4	0,2

Приближенно при освещении помещения светильниками, расположенными по вершинам квадратных полей,  $z = 1,15$  при освещении люминесцентными светильниками  $z = 1,1$ ;

$$i_n = a_1 \cdot b_1 / [h(a_1 + b_1)], \quad (4.4)$$

где  $a_1$  и  $b_1$  — длина и ширина помещения;

$h$  — расчетная высота.

Находим расстояние между соседними светильниками (или рядами)  $L$

$$L = \lambda \cdot h, \text{ м} \quad (4.5)$$

Высота установки светильника  $h$  вычисляется по формуле

$$h = H - h_{св} - h_{p.n.}, \text{ м} \quad (4.6)$$

Точечный метод обеспечивает определение освещенности любой точки поверхности, если известны светораспределение, расположение, и световой поток лампы светильника. Этот метод применяют для расчета общего локализованного и местного освещения при любом положении освещаемой плоскости или наклонном положении светильника. В общем виде световой поток лампы равен:

$$\Phi_L = 1000 \cdot E_n \cdot k / (\mu \cdot \sum e_i \psi_i), \quad (4.7)$$

где  $E_n$  — нормируемая освещенность, лк;

$k$  — коэффициент запаса;

$\mu$  — коэффициент дополнительной освещенности, создаваемой удаленными светильниками и отраженным светом, обычно приближенно принимается  $\mu = 1 \dots 1,2$  или  $\mu = \eta_0 / \eta_n$ ;  $\eta_0$  и

$\eta_n$  — коэффициенты использования для отражающих поверхностей с  $\rho_n, \rho_c, \rho_p$  и неотражающих поверхностей с  $\rho_n = \rho_c = \rho_p = 0$ ;

$\sum e_i \cdot \psi_i$  — условная освещенность контрольной точки от суммарного действия «ближайших» светильников. В качестве контрольных выбирают точки освещаемой поверхности, в которых полагают, что  $\sum e_i \cdot \psi_i$  имеет наименьшее значение;

$e_i$  — условная освещенность от  $i$ -го светильника, создаваемая лампой со световым потоком 1000 лм, определяемая по известному светораспределению светильника и размерам  $h$  и  $d$  заранее рассчитанным пространственным изолюксам условной горизонтальной освещенности. Если заданные  $h$  и  $d$  выходят за пределы шкал, эти координаты можно увеличить (уменьшить) в  $n$  раз так, чтобы точка оказалась в пределах графика, тогда определенное по графику:  $e = em^2$ ;

$\psi_i$  — переходный коэффициент, для горизонтальной плоскости  $\psi_i = 1$ , для наклонной —  $\psi_i = \cos \alpha_i \pm (d_i \sin \alpha / h_i)$  и вертикальной —  $\psi_i = d/h$  (рис.4.1).

Примеры пространственных изолюкс приведены на рис. 4.2.

«Ближайшими» считаются светильники, имеющие условную освещенность меньше освещенности, создаваемой ближним светильником, до 5 %. Светильники, затененные производственным оборудованием, не учитывают.

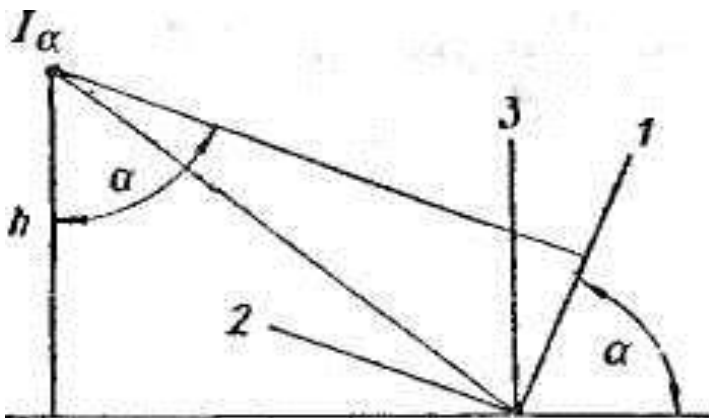


Рис. 4.1. Схема для определения переходного коэффициента  $\psi_i$   
1 и 2 — наклонные поверхности; 3 — вертикальная поверхность.

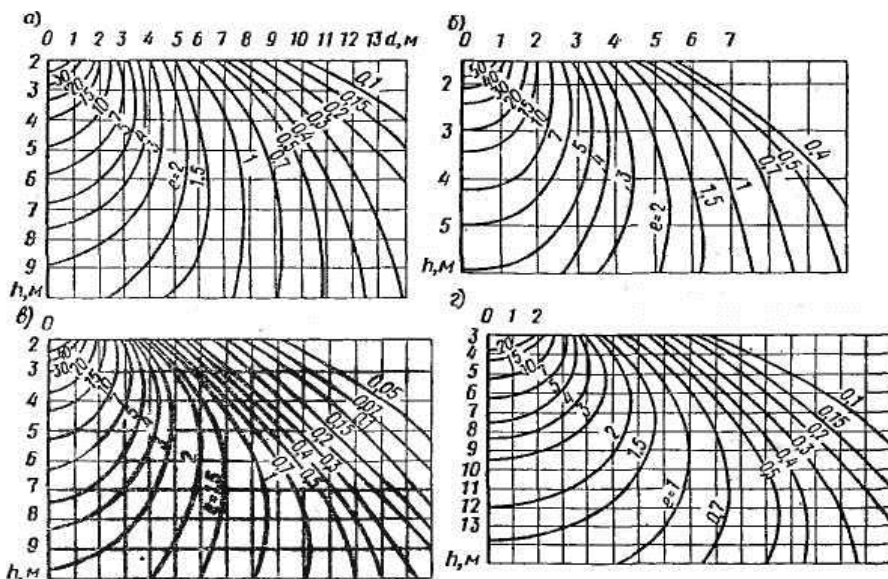


Рис. 4.2. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности  
а — светильники У, УИМ-15, УП-24, «Астра-1,11.12»; б — светильники ППД-100, ППД-200; в — светильник УПД; г — светильники УПД, ДРЛ



#### 4.4.3. Пример расчета светового потока методом коэффициента использования

Запроектируем временное общее равномерное освещение коридора в цехе; на участке происходит перенос строительных материалов и движение рабочих к рабочим местам.

Размеры коридора  $a_1 = 144$  м;  $b_1 = 2$  м;  $H = 4,5$  м. Стены и потолок не оштукатурены и не окрашены.

1. В соответствии с [13]  $E_H = 2$  лк. В качестве источника света выбираем ЛН. Для рассматриваемого случая по светораспределению и удобству эксплуатации (табл.4.6) подходит светильник типа «Астра», имеющий диаметр и высоту 208х316 мм, защитный угол  $\gamma = 30^\circ$ .

2. Определим по табл.4.5 коэффициент запаса  $k=1,3$ . Коэффициент, характеризующий неравномерность освещения, приближенно принимаем равным  $z=1,15$ .

3. Находим расстояние между соседними светильниками по формуле (4.5)

$$L = 0,5 \cdot 2,5 = 1,25, \text{ м} \quad (4.8)$$

где  $\lambda$  – выбирается из табл. 4.7;

$h$  – высота установки светильника над рабочей поверхностью, м;

4. Высота установки светильника  $h$  вычисляется по формуле

$$h = H - h_{cb} - h_{p.n.}, \text{ м} \quad (4.9)$$

где  $h_{cb}$  – высота свеса светильника, м (табл. 4.7);

$h_{p.n.}$  – высота рабочей поверхности, м (табл. 4.7).

$$h = 4,5 - 0,5 - 1,5 = 2,5(\text{м}),$$

5. Для определения коэффициента использования находим индекс помещения по формуле (4.4):

$$i = 144 \cdot 2 / [2,5(144 + 2)] = 0,79,$$

По табл.9 усредненных значений коэффициентов отражения принимаем  $\rho_n = 30\%$  и  $\rho_c = \rho_p = 10\%$ .

Таблица 4.9.

Усредненные значения коэффициентов отражения стен и потолка, %

Побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленные стены при не завешанных окнах, побеленный потолок в сырых помещениях, чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, бетонные стены с окнами, стены, оклеенные светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор; красный кирпич, стены с темными обоями	10

6. Определяем по табл.4.10 коэффициент использования светильников  $\eta = 48\%$ .

7. Определяем световой поток всех ламп. Устанавливаем светильник типа «Астра», имеющий диаметр и высоту 208x316 мм, при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в коридоре  $N = 100$ .

Находим общее число светильников  $N$ . Получившиеся нецелые значения  $N$  округлить до целых в большую сторону

$$N = N_{дл} \cdot N_{III} = 184$$

где  $N_{дл}$  – число светильников по длине;

$N_{III}$  – число светильников по ширине.

$$N_{дл} = B/L = 144/1,25 = 115,2; \quad N_{III} = A/L = 1,25 = 1,6.$$

Тогда

$$\Phi = 2 \cdot 288 \cdot 1,3 \cdot 1,15 / 0,48 = 1794 (\text{лм}).$$

По табл.4.3 выбираем лампы В220-15 и В220-25, имеющие соответственно световой поток 105 и 220 лм. Определяем необходимое число ламп: В220-15 – 17 шт. или В220-25 – 9 шт.

Таблица 4.10.

 Значения коэффициента использования светильников  $\eta, \%$ .

Индекс помещения i	Тип светильника														
	«Астра-1,11,12»; У, УПМ-15					ММР,НСП-01,НСП-0					УАД, ДРЛ				
	Коэффициенты отражения $\rho_n, \rho_c, \rho_p, \%$														
	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
0,5	24	22	20	17	16	19	15	12	9	6	30	30	23	20	18
0,6	34	32	26	23	21	24	23	15	11	8	37	36	30	27	26
0,7	42	39	34	30	29	29	27	19	15	12	42	40	33	31	29
0,8	46	44	38	34	33	33	31	23	13	14	45	43	37	34	33
0,9	49	47	41	37	36	35	33	25	19	15	47	45	40	37	35
1,0	51	49	43	39	37	37	35	26	20	16	49	47	41	40	38
1,1	53	40	45	41	39	40	37	28	22	18	54	50	43	42	40
1,25	56	52	47	43	41	43	40	30	24	19	55	53	47	44	42
1,5	60	55	50	46	44	46	42	32	25	20	59	56	50	48	45
1,75	63	58	53	48	46	49	45	35	27	22	62	58	53	50	48
2,0	66	60	55	54	49	52	47	37	29	23	67	60	56	53	50
2,25	68	62	57	53	54	54	19	39	31	24	69	62	57	54	52
2,5	70	64	59	55	53	56	50	40	32	25	71	63	59	57	53
3,0	73	66	62	58	56	60	53	43	35	27	73	66	60	58	56
3,5	76	68	64	61	59	62	55	45	36	28	75	67	61	59	57
4,0	78	70	66	62	60	64	57	47	38	30	77	69	63	61	53
5,0	81	73	69	64	62	67	59	49	40	32	79	70	66	63	60
$\Phi_0, \%$	75					47					70				

8. Проверяем условие экономичности сделанного выбора. Отклонение фактического светового потока всех ламп в первом случае составляет 1,4 %, во втором— 18 %. Оба варианта удовлетворяют условию  $10\% \leq \Phi \leq 20\%$ . При этом первый случай предпочтительнее.

Для рассматриваемого случая наивыгоднейшая высота подвески светильников  $h=2,5$  м. Так как выбранный светильник имеет косинусную характеристику распределения силы света, то по табл.4.11  $\lambda_s = 1,6$ , тогда экономически выгодное расстояние между светильниками будет  $l = \lambda_s \cdot h = 1,6 \cdot 2,5 = 3,36(\text{м})$ .

Таблица 4.11.

Значения показателя  $\lambda$  для различных типов кривых сил света светильников

Типовая кривая сила света	Энергетически выгодное $\lambda_c$	Экономически выгодное $\lambda_s$	Коэффициент, $\tau$
Концентрированная	0,6	0,6	10
Глубокая	0,9	1	4
Косинусная	1,4	1,6	1
Равномерная	2	2,6	0

Учитывая размеры коридора, принимаем  $l=4$  м и  $b=2$  м (рис. 4.3).

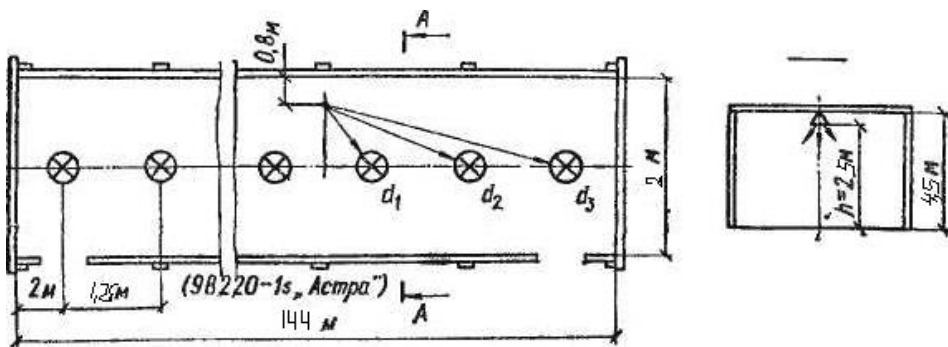


Рис. 4.3.Схема размещения светильников в коридоре (пример)

#### 4.4.4. Пример расчета светового потока точечным методом

Определить освещенность горизонтальной поверхности на уровне пола, создаваемую освещением, спроектированным в примере 1.

Решение. Выбираем контрольную точку  $a$  между двумя светильниками, расположенными в ряд на удалении от стены на расстоянии  $B/5=4,2/5=0,84$  м (см. рис. 4.3). Графически определяем расстояния:

$$d_1=2,45 \text{ м}, d_2=6,45 \text{ м и } d_3=10,1 \text{ м}.$$

По графику на рис. 4.2, а) пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности определяем условные освещенности точки от светильников при  $h=2,5$  м —  $e_1 = 10$  лк;  $e_2 = 1$  лк и  $e_3 = 0,1$  лк. Так как  $e_3 / e_1 \cdot 100 = 1\%$ , то освещенностью  $e_3$  можно пренебречь, тогда

$$\sum e_i = 2e_1 + 2e_2 = 22(\text{лк}).$$

Фактическая освещенность равна

$$E_{\phi} = \Phi_{л} \cdot \mu \cdot \sum e_i / (1000k) = 105 \cdot 1,1 \cdot 22 / (1000 \cdot 1,3) = 1,95(\text{лк})$$

Освещение коридора, принятое в примере 1, удовлетворяет допустимым нормам, так как  $E_{\phi}$  отличается от  $E_n$  на 2,5 %.

Точечный метод позволяет решать не только прямую и обратную задачи светотехнического расчета освещения, но дает возможность определять требуемое расстояние до осветительного прибора и строить изолюксы освещенности рабочего места.

#### 4.5. Контрольные вопросы

1. Что называется производственным освещением?
2. Виды производственного освещения по назначению и направлению светового потока.
3. Назовите способы проектирования производственного освещения.
4. Основные принципы устройства освещения в помещениях.
5. Какие нормативные документы нормируют освещенность?

Безопасность жизнедеятельности. Часть 2

6. Назовите виды осветительных приборов.
7. Какие методы расчета светового потока Вы знаете?
8. Что обеспечивает метод коэффициента светового потока? Напишите формулу.
9. Что обеспечивает точечный метод? Напишите формулу.

## 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ»

### 5.1. Цель работы

Ознакомление с основными сведениями об электрических сетях, аппаратах защиты электрических сетей, принципом их действия, нормативными требованиями. Приобретение навыков расчета параметров электрических сетей.

### 5.2. Общие сведения

**Электроустановка (ЭУ)** – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии [17].

**Электрическая сеть (ЭС)** – совокупность устройств, служащих для передачи и распределения электроэнергии от источников к потребителям.

**Нормальными** (номинальными) режимами работы ЭУ считаются режимы, в которых значения напряжений и токов во всех ее элементах не превышают установленных номинальных значений. **Номинальное напряжение** – наибольшее значения напряжения, на которое рассчитана ЭУ (изоляция токоведущих частей) в условиях длительной работы. **Номинальный ток** – наибольший допустимый по условиям нагрева токоведущих частей и изоляции ток, при котором ЭУ может работать неограниченно длительное время.

Электрический ток в процессе его передачи и потребления преобразуется в тепловую энергию. В номинальных режимах тепло, выделяющееся при протекании тока в токоведущих частях ЭУ, рассеивается в окружающую среду и не вызывает перегрева элементов ЭУ выше допустимых температур. Номинальные значения тока, напряжения и других параметров обычно указываются в маркировке ЭУ.

**Аварийными режимами** работы ЭУ являются режимы, в которых значения напряжений и токов хотя бы в одном элементе превышают номинальные. В этом случае в ЭУ выделяется такое количество тепла, которое не может компенсироваться теплоотдачей

в окружающую среду, наступает недопустимый перегрев, в результате которого происходит повреждение ЭУ, возможно возникновение возгораний. Основными аварийными режимами в ЭУ являются режим **токовой перегрузки** и режим **короткого замыкания (КЗ)**.

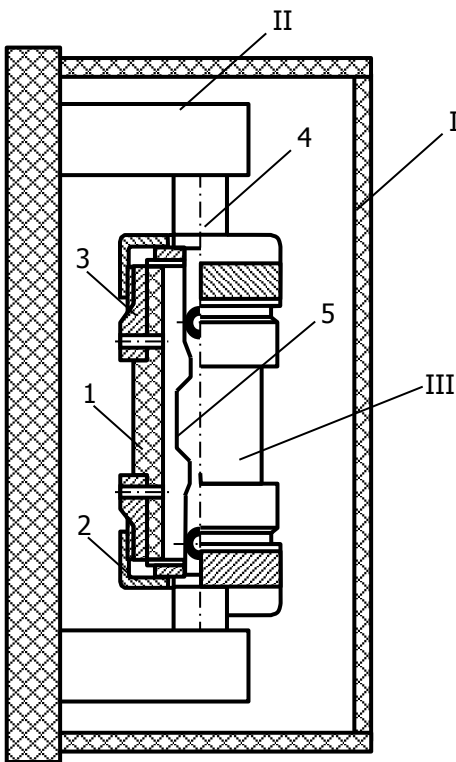


Рис. 5.1. Плавкий предохранитель  
I – корпус предохранителя; II – контактное устройство; III – плавкая вставка.

1 – корпус плавкой вставки; 2 – латунный колпак; 3 – латунная втулка; 4 – контактные ножи; 5 – плавкий элемент.

В режиме КЗ источник электроэнергии замкнут на малое сопротивление, что чаще всего происходит при замыкании проводников (кабелей или проводов электроснабжения, обмоток электрических машин и пр.) между собой либо на корпус в результате повреждения изоляции. Величина тока в этом режиме в десятки раз превышает номинальный ток ЭУ, что вызывает практически моментальный ее перегрев и выход из строя, поэтому токи КЗ необходимо отключать без выдержки времени.

В режиме перегрузки величина тока ненамного превышает номинальные значения (от 10 – 25% номинального). Это происходит, например, при завышении мощности потребителей, пуске электродвигателей под нагрузкой, завышенной частоте включения-выключения или реверса электродвигателей, дру-

гих нарушениях правил эксплуатации ЭУ. При перегрузке перегрев ЭУ наступает в течение достаточно длительного времени (в отдельных случаях – до 30 мин), а, например, для электродвигателей



кратковременные перегрузки, вызванные пусковыми токами, предусмотрены нормальным режимом работы, поэтому токи перегрузки следует отключать с выдержкой времени, которая определяется требуемыми режимами работы электрооборудования.

**Аппаратом защиты (АЗ)** электрической сети называется коммутационный электрический аппарат, автоматически отключающий сеть при аварийных режимах. Наиболее часто используются плавкие предохранители и автоматические выключатели.

**Плавкий предохранитель** – аппарат защиты, отключающий защищаемую цепь посредством **расплавления** специальных токоведущих частей (плавких вставок) под воздействием тока, превышающего определенное значение, с последующим гашением электрической дуги.

Плавкий предохранитель (см. рис. 5.1) состоит из корпуса I, контактного устройства II и плавкой вставки III. Плавкая вставка состоит из плавкого элемента 5, заключенного в корпус 1, и токоведущих элементов 2,3 и 4, предназначенных для включения вставки в защищаемую цепь. Основной частью плавкой вставки является плавкий элемент 5, через который проходит рабочий ток ЭУ и который при срабатывании расплавляется. После срабатывания предохранителя плавкая вставка подлежит замене на новую.

Достоинствами плавких предохранителей являются простота конструкции, надежность, способность коммутировать большие токи. Недостатки: плавкая вставка после срабатывания не восстанавливается, невозможность одновременного отключения нескольких фаз, малая чувствительность к перегрузкам.

### **Параметры плавких предохранителей**

*Номинальное напряжение  $U_{Н.ПР}$*  – напряжение, указанное на предохранителе и соответствующее наибольшему номинальному напряжению сетей, в которых разрешается установка данного предохранителя.

*Номинальный ток предохранителя  $I_{Н.ПР}$*  – ток, указанный на предохранителе и равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данного предохранителя. На этот ток рассчитаны все токоведущие контактные части предохранителя.

*Номинальный ток плавкой вставки  $I_{Н.ВСТ}$*  – ток, на который рассчитана вставка при длительной работе. В предохранитель

могут устанавливаться вставки различных номиналов. Номинальный ток предохранителя больше или равен номинальному току плавкой вставки  $I_{Н.ПР} \geq I_{Н.ВСТ}$

*Пограничный ток плавкой вставки  $I_{\infty}$*  – ток, при котором вставка расплавится через промежуток времени, достаточный для достижения ею установившейся температуры (обычно 1-2 ч).  $I_{\infty} > I_{Н.ВСТ}$ .

**Предельный ток отключения предохранителя  $I_{ПР.ПР}$**  – наибольшее значение тока, при котором предохранитель сработает без каких-либо повреждений.

Технические характеристики некоторых типов плавких предохранителей приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1  
Технические характеристики плавких предохранителей

Тип	Номинальный ток предохранителя $I_{н.пр}$ , А	Номинальный ток плавкой вставки $I_{н.вст}$ , А	Предельный ток отключения $I_{пр.пр}$ , А, при напряжении, В		
			220	380	500
ПР-2	15	6, 10 и 15	1200	800	700
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	5500	4500	3500
	100	60, 80, 100	11000	11000	10000
	200	100, 125, 160 и 200	11000	11000	10000
	350	200, 225, 260, 300, 350	11000	13000	11000
	600	350, 430, 500, 600	15000	23000	20000
НПН-15	15	6, 10 и 15	Нет сведений	10000	Нет сведений
НПН-60М	60	20, 25, 35, 45 и 60		10000	
НПН2-60	63	6, 10, 16, 20, 25, 31,5 40 и 63		10000	
ПН-2	100	31,5, 40, 50, 63, 80, 100	Нет сведений	100000	50000
	250	80, 100, 125, 160, 200 и 250		100000	40000
	400	200, 250, 315, 355 и 400		40000	25000
	630	315, 400, 500 и 630		25000	10000
Ц-27	25	6, 10, 15, 20 и 25	Нет сведений	600	Нет сведений
Ц-33	60	15, 20, 25, 35, 60		1000	
ПП24	25	2, 4, 6,3, 10, 16, 20, 25	Нет сведений	100000	
ПП17	1000	500, 630, 800, 1000		120000	
ПТ23	16	6, 10, 16	10000	Нет сведений	
ПТ26	31,5	20, 25, 31,5	10000		
ПР23	16	6,3, 10, 15	10000	Нет сведений	
ПР26	31,5	20, 25, 31,5	10000		

**Автоматический выключатель (автомат)** – аппарат защиты, отключающий защищаемую цепь посредством **расцепления** токоведущих частей (контактных групп) под воздействием тока, превышающего определенное значение, с последующим гашением электрической дуги. После срабатывания автомат переводится во включенное состояние вручную.

Срабатывание автомата обеспечивает **расцепитель** – это устройство, которое размыкает контакты, через которые проходит ток защищаемого оборудования, при превышении этим током определенных величин. Чаще всего используются расцепители максимального тока, которые срабатывают при токе, превышающем **ток уставки** (значение тока срабатывания, на которое отрегулирован расцепитель).

В автоматах применяются следующие виды расцепителей.

1. **Электромагнитный расцепитель.** Применяется для защиты от токов КЗ. Срабатывание расцепителя обеспечивает электромагнит, якорь которого при срабатывании давит на расцепитель, обеспечивая размыкание контактов. Расцепитель мгновенного действия (время срабатывания при токах КЗ – сотые доли секунд). В маркировке автомата тип расцепителя обозначен буквой М.

2. **Тепловой расцепитель.** Применяется для защиты от токов перегрузок. Срабатывание расцепителя обеспечивает биметаллическая пластина, которая при нагреве изменяет форму, и этим обеспечивает размыкание контактов. Расцепитель длительного срабатывания (время срабатывания зависит от величины тока перегрузки). В маркировке автомата тип расцепителя обозначен буквой Т.

3. **Комбинированный расцепитель.** Представляет собой комбинацию теплового и электромагнитного расцепителей в одном корпусе. Выполняет защиту и от токов КЗ, и от токов перегрузок. В маркировке обозначен МТ.

4. **Электродинамический расцепитель.** Используется для защиты от КЗ в автоматах с большими номинальными токами. Срабатывание обеспечивается электродинамическими силами, разрывающих силовые контакты.

5. **Полупроводниковый расцепитель.** Выполняет защиту и от токов КЗ и от перегрузок. Срабатывание обеспечивают силовые полупроводниковые элементы (тиристоры). Допускает ступенчатый выбор номинального тока расцепителя, уставок по току и по времени срабатывания для режимов КЗ и перегрузки.

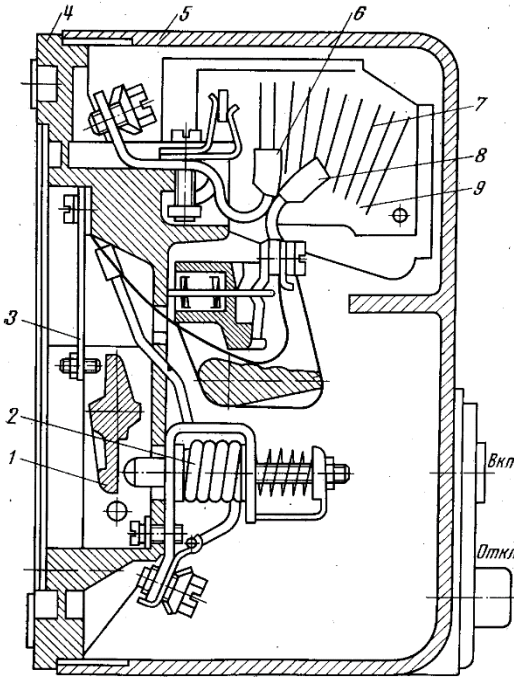


Рис. 5.2. Автоматический выключатель  
1 – механизм свободного расцепления;  
2, 3 – электромагнитный и тепловой расцепители; 4, 5 – корпус; 6, 8 – неподвижный и подвижный контакты; 7, 9 – дугогасительная камера.

В практической работе рассматриваются автоматы с электромагнитным, тепловым и комбинированным расцепителями.

Автоматический выключатель АП-50-ЗМТ (Рис. 5.2) с комбинированным расцепителем состоит из разъемного корпуса (поз.4 и 5), в котором установлены электромагнитный 2 и тепловой 3 расцепители, которые при срабатывании размыкают подвижный 8 и неподвижный 6 контакты. Контакты установлены внутри дугогасительной камеры, образованной между двумя стальными пластинами 9 с прорезями 7, в которой гасится электрическая дуга, возникающая при размыкании контактов под нагрузкой.

Тепловой расцепитель 3 срабатывает при токовой перегрузке не более  $1,35I_H$  за время в пределах 30 мин, что позволяет отключать защищаемое оборудование при длительных токовых перегрузках и при этом избежать ложных срабатываний при кратковременных бросках тока (например, пусковых токах электродвигателей). При токах, превышающих  $7I_H$  (токах КЗ), срабатывает электромагнитный расцепитель, время отключения которого не более 0,01 с. Механизм свободного расцепления 1 позволяет вручную включить автомат после срабатывания и вручную отключать его при необходимости.

Достоинствами автоматов являются высокое быстродействие, регулирование параметров срабатывания в широком диапазоне, одновременное отключение нескольких фаз, быстрое восстановление (включение) Недостатки: сложность конструкции, меньшая надежность, более высокая стоимость.

### Параметры автоматических выключателей

*Номинальное напряжение*  $U_{H.A}$  – напряжение, соответствующее наибольшему номинальному напряжению, на которое рассчитан автомат.

*Номинальный ток*  $I_{H.A}$  – наибольший ток, на который рассчитаны токоведущие и контактные части автомата, равный наибольшему из номинальных токов расцепителя.

*Номинальный ток расцепителя* ( $I_{H.ЭЛ.М.}$ ,  $I_{H.ТЕПЛ.}$  или  $I_{H.КОМБ.}$ ) – наибольший ток, на который рассчитан электромагнитный (*эл.м.*), тепловой (*тепл.*) или комбинированный (*комб.*) расцепитель автомата для длительной работы без срабатывания. В автомат могут устанавливаться расцепители различных номиналов.

*Номинальный ток уставки расцепителя* – текущая величина номинального тока, на который отрегулирован расцепитель для длительной работы без срабатывания. Обычно для автоматов с регулировкой тока уставки

$$I_{H.УСТ.} = (0,6 - 1) \cdot I_{H.ТЕПЛ., А} \quad (5.1)$$

*Н.ЭЛ.М.*

*Ток срабатывания (уставки) расцепителя*  $I_{СР.ЭЛ.М.}$ ,  $I_{СР.ТЕПЛ.}$  – наименьший ток, при котором срабатывает расцепитель автомата:

– для автоматов с электромагнитным или комбинированным расцепителем

$$I_{СР.ЭЛ.М} = (7 - 15) \cdot I_{H.ЭЛ.М}, А \quad (5.2)$$

– для автоматов с тепловым расцепителем без регулировки тока уставки

$$I_{СР.ТЕПЛ} = (1,25 - 1,45) \cdot I_{H.ТЕПЛ}, А \quad (5.3)$$

– для автоматов с тепловым расцепителем с регулируемой токовой уставкой

$$I_{СР.ТЕПЛ} = (1,25 - 1,33) \cdot I_{Н.УСТ}, А \quad (5.4)$$

*Предельный ток отключения при данном напряжении  $I_{ПР.А}$*

– наибольшее значение тока, при котором автомат сработает без каких-либо повреждений.

Технические характеристики некоторых типов автоматов приведены в табл. 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2  
Технические характеристики автоматов серии А3100

Выключатель		Число полюсов	$I_{н.а}$	Токи расцепителя, А			$I_{пр.а}$ , А, при напряжении, В		
Тип	Модификация			$I_{н.тепл}$	$I_{н.эл.м}$	$I_{ср.эл.м}$	220	350	500
A3161	Отсутствует	1	50	15	-	-	2500	2000	-
				20	-	-	3000	2500	-
A3162		2		25	-	-	3500	3000	-
	30			-	-	4000	3500	-	
A3163	3			40	-	-	4500	4000	-
		50		-	-	5000	4500	-	
A3114	A3113/1	2	200	15	15	150	4000	3200	2500
				20	20	200	5000	4000	3200
				25	25	250	6500	5000	4000
				30	30	300	9000	7000	6000
	A4114/1	3		40	40	400	10000	8500	7000
				50	50	500	12000	10000	8000
				60	60	600	13000	11000	9000
				80	80	800	14000	11500	9500
	100	100	1000	15000	12000	10000			
A3120	A3123	2	100	15	15	430	7000	5500	4000
				20	20	430	7500	6000	5000
				25	25	600	11000	9000	7000
				30	30	600	12000	10000	8000
				40	40	800	15000	13000	10000
	A3124	3		50	50	800	22000	19000	14000
				60	60	800	23000	20000	15000
				80	80	800	26000	22000	16000
				80	80	800	26000	22000	16000
				100	100	800	30000	23000	18000

Выключатель		Число полюсов	$I_{н.а}$	Токи расцепителя, А			$I_{пр.а}$ , А, при напряжении, В		
Тип	Модификация			$I_{н.тепл}$	$I_{н.эл.м}$	$I_{ср.эл.м}$	220	350	500
А3130	А3133	2	200	120	120	840	20000	19000	14000
	А3334	3		150	150	1050	30000	23000	18000
				200	200	1400	35000	30000	25000
А3140	А3143	2	600	250	250	1750	35000	32000	32000
				300	300	2100	40000	35000	35000
				400	400	2800	40000	35000	35000
	А3144	3		500	500	3500	50000	50000	40000
				600	600	4200	50000	50000	40000

Таблица 5.3  
Характеристики автоматов АЕ1000 (однополюсных) и АЕ2000 (трехполюсных)

Серия	Тип	Расцепитель	$I_{н.а}$ , А	$I_{н.тепл.}$ , $I_{н.эл.м.}$ , А	$I_{ср.тепл.}$ , А	$I_{ср.эл.м.}$ , А	$I_{пр.а}$ , А
АЕ1000	АЕ1031-11	Комб.	25	6; 10; 16; 25	1,5 $I_{н.расц}$	(12-18) $I_{н.расц}$	2000
	АЕ1031-12	Тепловой	25	То же	1,5 $I_{н.расц}$	-	1000
	АЕ1031-13	Эл.магн.	25	То же	-	(12-18) $I_{н.расц}$	1000
АЕ2000	АЕ2033	Эл.магн.	25	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	1,25 $I_{н.расц}$	3 $I_{н.расц}$ или 12 $I_{н.расц}$	3000
	АЕ2036	Комб.	25	То же	1,25 $I_{н.расц}$	3 $I_{н.расц}$ или 12 $I_{н.расц}$	3000
	АЕ2053	Эл.магн.	100	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	-	3 $I_{н.расц}$ или 12 $I_{н.расц}$	6000
	АЕ2056	Комб.	100	То же	1,25 $I_{н.расц}$	3 $I_{н.расц}$ или 12 $I_{н.расц}$	6000

С целью унификации номинальных параметров АЗ принята стандартная шкала номинальных токов аппаратов защиты, А.

Таблица 5.4  
Стандартная шкала номинальных токов аппаратов защиты, А.

0,3...0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 700; 850; 1000.
--

### 5.3. Требования к защите электрических сетей и аппаратам защиты

5.3.1. Электрические сети должны иметь **защиту от токов КЗ**, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности.

5.3.2. От **перегрузки** должны быть защищены сети внутри помещений:

- выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной изоляцией;

- осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, а также в пожароопасных зонах;

- силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях – только в случаях, когда по условиям техпроцесса или режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;

- сети всех видов во взрывоопасных зонах.

5.3.3. Сечение проводников должно удовлетворять усло-

вию: **допустимый длительный ток проводника**  $I_{ДОП}$  должен соответствовать рабочему току нагрузки  $I_P$  :

$$I_{ДОП} \geq I_P, \text{ А} \quad (5.5)$$

5.3.4. В качестве аппаратов защиты должны применяться **автоматические выключатели** или **предохранители**.

5.3.5. Номинальные токи АЗ, служащих для защиты отдельных участков сети, следует выбирать по возможности **наименьшими** по отношению к расчетным рабочим токам этих участков  $I_P$  :



$$I_{\substack{H.BCT \\ H.ЭЛ.М \\ H.ТЕПЛ}} \geq I_{P, A} \quad (5.6)$$

5.3.6. В сетях, защищаемых от перегрузок, номинальные токи АЗ, служащих для защиты отдельных участков сети, не должны превышать длительно допустимые токовые нагрузки на проводники участков  $I_{ДОП}$ . В этом случае должно быть обеспечено условие:

$$I_{\substack{H.BCT \\ H.ЭЛ.М \\ H.ТЕПЛ}} \leq I_{ДОП, A} \quad (5.7)$$

5.3.7. АЗ не должны отключать электроустановки **при кратковременных перегрузках** (пусковые токи, «пики» токов технологических нагрузок, токи при самозапуске и т.п.). Для этого должно выполняться следующее условие:

$$I_{\substack{H.BCT \\ CP.ЭЛ.М \\ CP.ТЕПЛ}} \geq I_{МАКС} / \alpha \quad (5.8)$$

где  $I_{МАКС}$  – наибольшая величина кратковременного тока в сети, А;

$\alpha$  – коэффициент режима перегрузки АЗ. Для плавких предохранителей  $\alpha = 2,5$ , для автоматов  $\alpha = 0,8$ .

5.3.8. АЗ должны обеспечивать отключение поврежденного участка **при КЗ в конце защищаемой линии**: однофазных – в сетях с глухозаземленной нейтралью; двухфазных – в сетях с изолированной нейтралью. Ток КЗ в конце защищаемого участка является **минимально возможным током аварийного режима сети**. АЗ должен обеспечивать отключение этого тока при любых условиях. Надежное отключение обеспечивается, если отношение наименьшего расчетного тока КЗ в конце линии  $I_{КЗ.К}$  к номинальному току плавкой вставки предохранителя  $I_{H.BCT}$ , номинальному току теплового расцепителя автомата  $I_{H.ТЕПЛ}$  или

току срабатывания электромагнитного расцепителя автомата  $I_{СР.ЭЛ.М}$  будет не менее следующих значений:

$$I_{КЗ.К} / I_{Н.ВСТ} \geq 3(4); \quad (5.8)$$

$$I_{КЗ.К} / I_{СР.ЭЛ.М} \geq 1,25 \div 1,4; \quad (5.9)$$

$$I_{КЗ.К} / I_{Н.ТЕПЛ} \geq 3(6), \quad (5.10)$$

В скобках приведены значения для взрывоопасных зон

5.3.9. АЗ по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока КЗ **в начале защищаемого участка** электрической сети. Ток КЗ в начале защищаемого участка  $I_{КЗ.Н}$  является **максимально возможным током аварийного режима сети**. АЗ должен гарантировать отключение этого тока без разрушения аппарата. Надежность обеспечивается при выполнении условия:

$$I_{ПР.ПР} \geq I_{КЗ.Н}, A \quad (5.11)$$

*ПР.А*

5.3.10. АЗ должны обеспечивать **селективность действия**. Это означает, что на появление аварийных режимов реагирует только ближайший к месту повреждения АЗ и не отключается последующий АЗ. Для этого необходимо, чтобы номинальные токи последовательно включенных АЗ, по возможности, отличались друг от друга не менее, чем на две ступени шкалы номинальных токов (см. табл. 5.4). Для не особо ответственных случаев допускается иметь разницу в одну ступень.

5.3.11. Предохранитель является однофазным аппаратом, при перегрузках может перегореть плавкая вставка только в одной из фаз трехфазной сети. В этом случае трехфазный электродвигатель будет работать на оставшихся двух фазах, что является недопустимым пожароопасным режимом. Поэтому для защиты силовых сетей с трехфазными электродвигателями рекомендуются автоматические выключатели. Автоматы рекомендуется применять также в тех случаях, когда необходимо быстрое восстановление питания. Автоматы имеют более устойчивые и постоянные защитные харак-

теристики, обеспечивают надежное отключение и селективную защиту от сверхтоков, позволяют сравнительно точно установить определенный ток срабатывания.

Плавкие предохранители более дешевы, конструктивно просты и срабатывают при сверхтоках безотказно. Кроме того, они лучше ограничивают большие токи КЗ и обладают большей разрывной способностью, чем автоматы. Предохранители могут применяться для защиты сетей, где по условиям работы предусматривается различная нагрузка по фазам.

## 5.4. Расчетная часть

### 5.4.1. Задание по работе

Выбрать аппараты защиты для силовой и осветительной сети. Проверить расчетом соответствие выбранных аппаратов нормативным требованиям.

К расчету принята сеть с глухозаземленной нейтралью (см. рис. 5.3).

Электропитание подается от понижающей подстанции ТП 6/0,4 кВ на силовой щит ЩС по участку I (магистраль «ТП–ЩС»). От ЩС питание подается на электродвигатель силового оборудования (участок II). Участки I и II составляют силовую сеть. Для обеспечения искусственного освещения помещений к ЩС отдельной линией (участок III) подключен осветительный щиток ЩО, от которого выполняется электропитание светильников (участок IV). Участки I, III и IV составляют осветительную сеть. Напряжение сети – 380/220 В: линейное – для силовой, фазное – для осветительной сети.

Исходные данные для выполнения работы согласно номеру варианта, который задает преподаватель, принимают по табл.5.5 – 5.8.

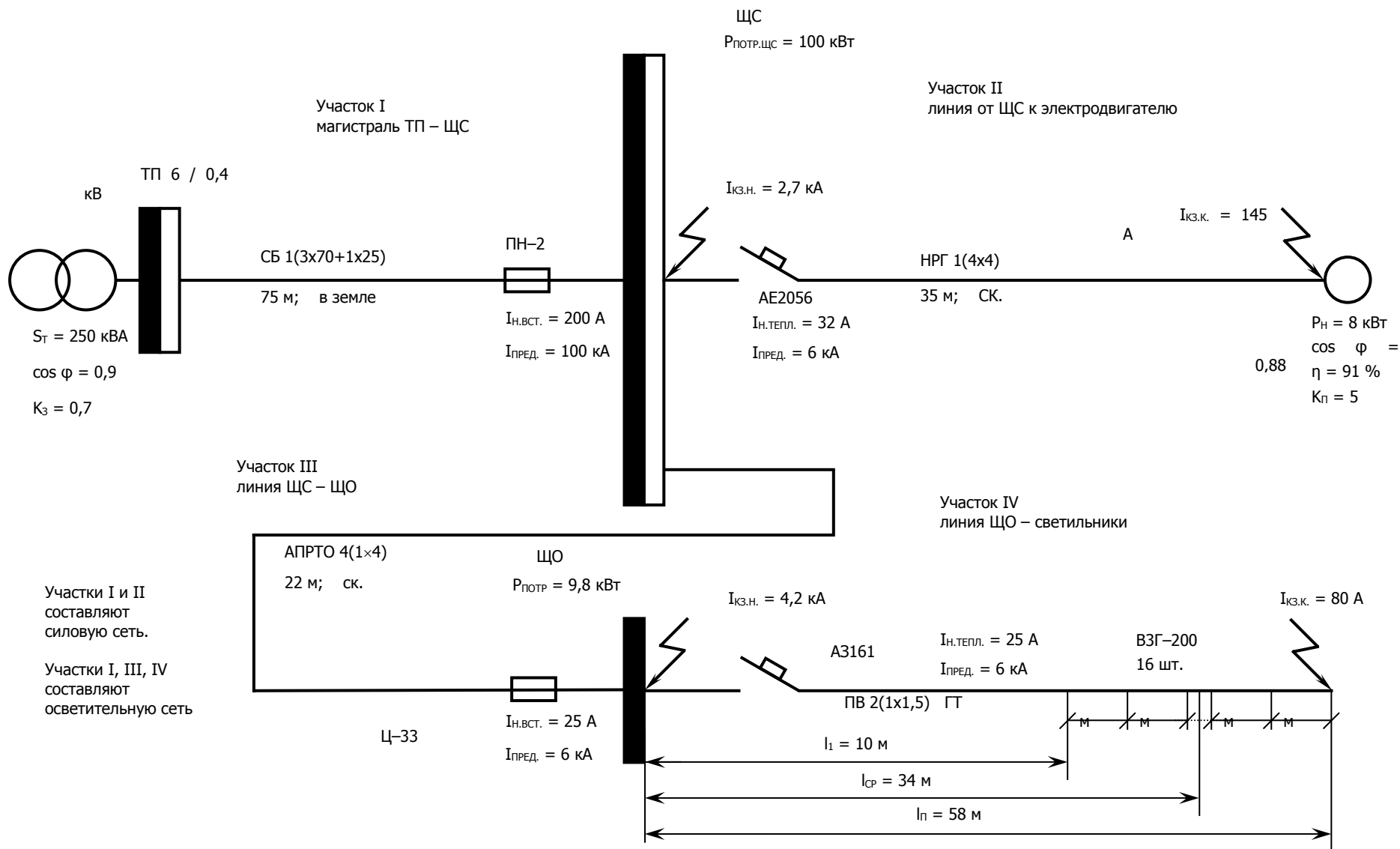


Рис. 5.3. Пример выполнения электрической схемы силовой и осветительной сетей

Таблица 5.5  
Данные питающего трансформатора и вводных магистралей  
(участок I).

Вариант	Мощность трансформатора $S_T$ , кВА	Марка кабеля	Кол-во и сечение жил, мм <sup>2</sup>	Длина, м	Способ прокладки	Потр. мощность на ЩС $P_{потр.щс}$ кВт
1	250	СБ	1(3x70+1x25)	75	В земле	100
2	160	АСБ	1(3x50+1x25)	100	В земле	75
3	630	ВРБ	1(3x35+1x16)	50	В земле	90
4	1000	СРБ	1(3x70+1x25)	150	В земле	120
5	1600	АБ	1(3x120+1x50)	200	В земле	150
6	400	ААБ	1(3x95+1x35)	80	В земле	110
7	630	АБГ	1(3x35+1x16)	85	В земле	85
8	1000	СБГ	1(3x50+1x25)	50	В земле	80
9	400	АСБГ	1(3x120+1x70)	70	В земле	140
10	1600	НРБ	1(3x50+1x25)	110	В земле	100

Таблица 5.6  
Расчетные данные силовой сети (участок II)

Вариант	Марка кабеля	Кол-во и сечение жил, мм <sup>2</sup>	Длина, м	Способ прокладки	Двигатель			
					Мощность, $P_n$	$\cos \varphi$	КПД $\eta$	К-т пуска $K_p$
1	ПРТО	1(4x1.5)	20	ГТ	5,5	0,84	0,86	6
2	НРБГ	1(3x4+1x2.5)	18	Скобы	8	0,84	0,87	5
3	ПВ	4(1x2.5)	30	ГТ	13	0,88	0,86	7,5
4	НРГ	1(4x4)	35	Скобы	15	0,87	0,90	6,5
5	АПР	1(3x6+1x4)	50	ГТ	22	0,86	0,91	6,5
6	ПВ	3(1x10)	30	ГТ	17	0,91	0,87	7,4
7	ВРГ	1(3x16+1x10)	40	Скобы	25	0,85	0,87	6,5
8	ВВГ	1(4x10)	70	Скобы	30	0,89	0,91	6,4
9	АВВБ	1(4x16)	60	Скобы	40	0,9	0,87	6
10	ВВБГ	1(3x16+1x10)	55	Скобы	25	0,91	0,88	9,5

Таблица 5.7  
Расчетные данные магистрали от ЩС до ЩО (Участок III)

Вариант	Марка кабеля	Кол-во и сечение жил, мм <sup>2</sup>	Длина, м	Способ прокладки	Потр. мощность на ЩО $P_{\text{потр.щ.}}$ кВт
1	ПРТО	1(4x2.5)	22	Скобы	9,8
2	ПВ	4(1x4)	12	ГТ	14,8
3	АНРГ	1(4x2.5)	12	Скобы	5,9
4	НРГ	1(4x1.5)	14	Скобы	7,0
5	ВВГ	1(4x1.5)	24	Скобы	4,5
6	ПВ	4(1x1.5)	28	ГТ	7,5
7	АВВГ	1(4x6)	18	Скобы	12,6
8	АПВ	4(1x2.5)	16	ГТ	9,0
9	ВРБГ	1(3x6+1x2.5)	24	Скобы	12,0
10	НРГ	1(3x10+1x4)	36	Скобы	17,0

Таблица 5.8  
Расчетные данные осветительной сети (участок IV)

Вариант	Марка кабеля	Кол-во и сечение жил, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	$l_1$ , м	$a$ , м	Светильник	
						Мощность $P_{\text{св}}$ , Вт	Кол-во
1	ПРТО	4(1x1.5)	ГТ	16	4	200	20
2	ПВ	2(1x2)	ГТ	14	3	300	15
3	АНРГ	1(2x2.5)	Скобы	18	4	250	10
4	ПРТО	2(1x2.5)	ГТ	16	3	300	9
5	НРГ	1(4x1.5)	Скобы	14	6	250	8
6	АВВБ	1(2x4)	Скобы	16	4	200	10
7	ПВ	4(1x1.5)	ГТ	20	3	300	12
8	ПРТО	2(1x2.5)	ГТ	18	6	300	10
9	ПВ	4(1x2)	ГТ	20	4	200	15
10	АПРТО	4(1x3)	ГТ	12	4	250	20

ГТ – прокладка в трубах.  $l_1$  – расстояние от ЩС до первого светильника, м;  $a$  – расстояние между светильниками, м

### 5.4.2. Порядок выполнения расчетов

1. Определить рабочие токи  $I_P$  всех рассматриваемых участков сети.

Участок I:

$$I_{P1} = \frac{P_{ПОТР.ЩС} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{Л}}, \text{ А}, \quad (5.12)$$

где  $P_{ПОТР.ЩС}$  – потребляемая мощность на ЩС, кВА; (табл.5.5);

$U_{Л}$  – линейное напряжение сети, В.

Участок II:

$$I_{P2} = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А}, \quad (5.13)$$

где  $P_H, \cos \varphi, \eta$  – мощность, кВт, коэффициент мощности и КПД электродвигателя (табл.5.6).

Участок III:

$$I_{P3} = \frac{P_{ПОТР.ЩО} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{Л}}, \text{ А}, \quad (5.14)$$

где  $P_{ПОТР.ЩО}$  – потребляемая мощность на ЩО, кВА (табл.5.7).

Участок IV:

$$I_{P4} = \frac{P_{СВЕТ} \cdot n_{СВЕТ}}{U_{\phi}}, \text{ А}, \quad (5.15)$$

где  $P_{СВЕТ}$  – мощность одного светильника, Вт (табл.5.8);

$n_{СВЕТ}$  – количество светильников, шт. (табл.5.8);

$U_{\phi}$  – фазное напряжение сети, В.

Таблица 5.9  
Провода с медными (ПВ, ПР, ПРТО) / алюминиевыми (АПВ, АПР, АПРТО) жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
1,5	23 / –	19 / –	17 / –	16 / –	18 / –	15 / –
2	26 / 21	24 / 19	22 / 18	20 / 15	23 / 17	19 / 14
2,5	30 / 24	27 / 20	25 / 19	25 / 19	25 / 19	21 / 16
3	34 / 27	32 / 24	28 / 22	26 / 21	28 / 22	24 / 18
4	41 / 32	38 / 28	35 / 28	30 / 23	32 25	27 / 21
5	46 / 36	42 / 32	39 / 30	34 / 27	37 / 28	31 / 24
6	50 / 39	46 / 36	42 / 32	40 / 30	40 / 31	34 / 26
8	62 / 46	54 / 43	51 / 40	46 / 37	48 / 38	43 / 32
10	80 / 60	70 / 50	60 / 47	50 / 39	55 / 42	50 / 38

Таблица 5.10  
Кабели ВВ(Б,Г), ВР(Б,Г), НР(Б,Г), СР(Б,Г) с медными / алюминиевыми жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток, А, для кабелей			
	Двухжильных		Трехжильных	
	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	19 / -	33 / -	19 / -	27 / -
2,5	27 / 21	44 / 34	25 / 19	38 / 29
4	38 / 29	55 / 42	35 / 27	49 / 38
6	50 / 38	70 / 5	42 / 32	60 / 46
10	70 / 55	105 / 80	55 / 42	90 / 70
16	90 / 70	135 / 105	75 / 60	115 / 90
25	115 / 90	175 / 135	95 / 75	150 / 115
35	140 / 105	210 / 160	120 / 90	180 / 140
50	175 / 135	265 / 205	145 / 110	225 / 175



Таблица 5.11  
Кабели С(Б,Г), А(Б,Г) с медными / алюминиевыми АС(Б,Г), АА(Б,Г) жилами

Сечение, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для кабелей			
	трехжильных до 3 кВ		четырёхжильных до 1 кВ	
	в земле	в воздухе	в земле	в воздухе
25	160 / 125	105 / 80	150 / 115	100 / 75
35	190 / 145	125 / 95	175 / 135	120 / 95
50	235 / 180	155 / 120	215 / 165	145 / 110
70	285 / 220	200 / 155	265 / 200	185 / 140
95	340 / 260	245 / 190	310 / 240	215 / 165
120	390 / 300	285 / 220	350 / 270	260 / 200
150	435 / 335	330 / 255	395 / 305	300 / 230
185	490 / 380	375 / 290	450 / 345	340 / 260

2. Пользуясь рекомендациями п.5.3.3, и табл.5.9 – 5.11, для всех участков определить допустимые длительные токи проводников  $I_{ДОП}$  и проверить соблюдение условия (5.5). Рабочие

токи участков  $I_P$  определены в п.1 данного раздела. В случае невыполнения условия (5.5) следует выбрать из табл.5.9 – 5.11 проводник той же марки с большим сечением жил и повторно проверить условие (5.5).

3. В зависимости от назначения участков сети (силовая, осветительная), пользуясь рекомендациями пп.5.3.4, 5.3.11 и табл. 5.1, 5.2, 5.3 выбрать тип и марку АЗ для каждого участка.

4. Пользуясь рекомендациями п.5.3.4, из табл. 5.1, 5.2, 5.3 для каждого участка выбрать АЗ с ближайшим большим номинальным током ( $I_{Н.ВСТ}$ ,  $I_{Н.ЭЛ.М}$  или  $I_{Н.ТЕПЛ}$ ) к рабочему току  $I_P$  этого участка, обеспечивая при этом выполнение условия (5.6).

5. Для участков, для которых предусмотрена защита от перегрузок, (по исходным данным это участки II, III и IV), пользуясь результатами предыдущих пунктов расчета и указаниями п. 5.3.6, выполнить проверку условия (5.7). В случае невыполнения условия (5.7), следует из табл. 5.1, 5.2, 5.3 выбрать АЗ того же типа с ближайшим меньшим номинальным током, либо АЗ другого типа и номинала. При этом одновременно контролировать соблюдение

условия (5.5). При невозможности соблюдения обеих условий одновременно следует выбрать из табл.5.9 – 5.11 проводник той же марки с большим сечением жил и повторно проверить условие (5.7).

6. Проверить силовую сеть на отсутствие ложных отключений при кратковременных токовых перегрузках по п.5.3.7 и условию (5.8). Проверка выполняется только для АЗ участка II.

Наибольшая величина кратковременного тока в сети  $I_{МАКС}$  определяется по формуле:

$$I_{МАКС} = I_{P2} \cdot K_{II}, А \quad (5.16)$$

где  $K_{II}$  – коэффициент пуска электродвигателя (отношение пускового тока к номинальному току), см. табл.5.6.

В случае невыполнения условия (5.8), следует табл. 5.1, 5.2, 5.3 выбрать АЗ того же типа с ближайшим **большим** номинальным током, а если это невозможно – другого типа и номинала и повторно проверить условие (5.8).

7. Проверить надежность отключения поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии по условиям: (5.9) – для плавких предохранителей, (5.9) – для автоматов с электромагнитным расцепителем, (5.11) – для автоматов с тепловым расцепителем. Для автоматов с комбинированным расцепителем должно выполняться хотя бы одно из условий – (5.9) или (5.11). Необходимые параметры АЗ принимаются из табл. 5.1, 5.2, 5.3.

Ток КЗ в конце линии  $I_{КЗ.К}$  определяется приближенным расчетом. Расчет выполняется: в сетях с глухозаземленной нейтралью – для случая однофазного короткого замыкания; в сетях с изолированной нейтралью – для случая двухфазного короткого замыкания. Предполагается, что короткое замыкание произошло на зажимах электроприемника.

В исходных данных принята сеть с глухозаземленной нейтралью, для которой

$$I_{КЗ.К} = U_{\Phi} / Z_{\Phi-0}, А \quad (5.17)$$

где  $U_{\Phi}$  – номинальное фазное напряжение сети, В;

$Z_{\phi-0}$  – полное сопротивление цепи тока КЗ для петли «фаза–нуль», Ом.

Сопротивление петли «фаза–нуль»:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(\sum R_{\phi i} + \sum R_{O i} + \sum R_{Д i})^2 + (\sum X_{\phi i} + \sum X_{O i})^2} + Z_T, \text{ Ом}, \quad (5.18)$$

где  $R_{\phi i} = \rho_{\phi i} \cdot l_{\phi i} / S_{\phi i}$  – активное сопротивление фазного провода  $i$ -го участка петли «фаза–нуль», Ом;

$R_{O i} = \rho_{O i} \cdot l_{O i} / S_{O i}$  – активное сопротивление нулевого провода, Ом;

$X_{\phi i} = a_{\phi i} \cdot l_{\phi i}$  – реактивное сопротивление фазного провода, Ом;

$X_{O i} = a_{O i} \cdot l_{O i}$  – реактивное сопротивление нулевого провода, Ом;

$R_{Д i}$  – добавочные сопротивления переходных контактов, Ом.

Для распределительных щитов на подстанциях  $R_{Д i} = 0,015$  Ом; для первичных РУ напряжением 380 В, питаемых от подстанций  $R_{Д i} = 0,02$  Ом; для вторичных РП и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных РУ  $R_{Д i} = 0,025$  Ом; для аппаратуры, установленной непосредственно у электроприемников, питающейся от вторичных РП  $R_{Д i} = 0,03$  Ом.

$Z_T$  – полное расчетное сопротивление питающего трансформатора току КЗ на корпус (землю), Ом (см. табл.5.12).

Таблица 5.12

Полное расчетное сопротивление  $Z_T$  питающих трансформаторов  
току КЗ

Мощность трансформатора, кВА	$Z_T$ , Ом	Мощность трансформатора, кВА	$Z_T$ , Ом
25	3,110	160	0,478
40	1,949	250	0,305
63	1,136	400	0,191
100	0,764	630	0,121

Примечание: Для трансформаторов мощностью свыше 630 кВА  $Z_T = 0$ .

$\rho$  – удельное сопротивление материала кабеля/провода, Ом\*мм<sup>2</sup>/м. медь – 0,019 Ом\* мм<sup>2</sup>/м; алюминий – 0,032 Ом\* мм<sup>2</sup>/м;

$l$  – длина участка, м;

$S_\Phi, S_0$  – сечение фазной, нулевой жилы кабеля/провода, мм<sup>2</sup>;

$a$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля/провода, Ом/м.

Для кабелей  $a = 0,07 \cdot 10^{-3}$  Ом/м; для изолированных проводов, проложенных в трубе  $a = 0,09 \cdot 10^{-3}$  Ом/м.

Расчеты выполняются для силовой и осветительной сетей.

Для силовой сети, включающей участки I и II:

$$\sum R_\Phi^{CC} = R_\Phi^I + R_\Phi^{II}, \text{ Ом} \quad (5.20)$$

Аналогично определяются  $\sum R_0^{CC}$ ,  $\sum R_D^{CC}$ ,  $\sum X_\Phi^{CC}$ ,  $\sum X_0^{CC}$ . Условия (5.9) – (5.11) проверяются для АЗ участка II.

Для осветительной сети, включающей участки I, III и IV:

$$\sum R_\Phi^{OC} = R_\Phi^I + R_\Phi^{III} + R_\Phi^{IV}, \text{ Ом} \quad (5.19)$$

Аналогично определяются  $\sum R_0^{OC}$ ,  $\sum R_D^{OC}$ ,  $\sum X_\Phi^{OC}$ ,  $\sum X_0^{OC}$ . Условия (5.9) – (5.11) проверяются для АЗ участка IV.

Если соотношения (5.9) – (5.11) не выполняются, то рекомендуется установить на линии промежуточный АЗ с меньшим током срабатывания или принять меры к снижению сопротивления участков петли «фаза–нуль»: заменить материал кабелей / проводов участков, увеличить сечение нулевого или фазного проводов, заменить способ прокладки и пр. В качестве крайней меры допускается переключение питающей линии на трансформатор большей мощности.

8. Проверить отключающую способность АЗ по максимальному значению тока КЗ в начале защищаемого участка  $I_{КЗ.H}$  по условию (5.12). Необходимые параметры АЗ принимаются из табл. 5.1, 5.2, 5.3.

Ток КЗ в начале защищаемого участка  $I_{КЗ.H}$  определяется по формуле:

$$I_{КЗ.H} = U_{Л} / Z_{\Phi}, \text{ Ом} \quad (5.20)$$

где  $U_{Л}$  – номинальное линейное напряжение сети, В;  
 $Z_{\Phi}$  – полное сопротивление цепи тока КЗ для петли «фаза–фаза», Ом;

$$Z_{\Phi} = \sqrt{\left(2 \times \sum R_{\Phi i} + \sum R_{D i} + R_T\right)^2 + \left(2 \times \sum X_{\Phi i} + X_T\right)^2}, \text{ Ом}, \quad (5.21)$$

где  $R_T = c / S_T$  – сопротивление фазы трансформатора питания активное, Ом;

$X_T = d \times R_T$  – то же, индуктивное, Ом.

$S_T$  – мощность трансформатора, кВА;

$c$  – коэффициент активного сопротивления.

Для трансформаторов мощностью до 60 кВА включительно равен 4; 60 – 180 кВА – 3,5; 180 – 1000 кВА – 2,5; более 1000 кВА – 2,2.

$d$  – коэффициент индуктивного сопротивления.

Для трансформаторов мощностью до 180 кВА включительно равен 2; 180 – 1000 кВА – 3; более 1000 кВА – 4.

Остальные параметры в формуле (5.23) определены ранее (см. , Ом, (5.18)).

Если условие (5.12) не выполняется, то рекомендуется заменить АЗ на аналогичный с большим предельным током (табл. 1–7 прил. 1 к [18]).

9. Проверить селективность действия АЗ. Для принятой в исходных данных сети достаточно, чтобы номиналы последовательно включенных АЗ в силовой и осветительной сетях отличались друг от друга не менее чем на одну ступень шкалы номинальных токов. Должны выполняться условия:

- для силовой сети

$$I_{Н.ВСТ}^I > I_{Н.ВСТ}^II, A \quad (5.22)$$

$\begin{matrix} Н.ЭЛ.М \\ Н.ТЕПЛ \end{matrix}$

- для осветительной сети

$$I_{Н.ВСТ}^I > I_{Н.ВСТ}^III > I_{Н.ВСТ}^IV, A \quad (5.23)$$

$\begin{matrix} Н.ЭЛ.М \\ Н.ТЕПЛ \end{matrix}$

При несоблюдении селективности следует заменить АЗ на предыдущем последовательно включенном участке и вновь проверить условие.

## 5.5. Контрольные вопросы

1. Опишите аварийные режимы работы электроустановок.
2. Что называется аппаратом защиты? Виды аппаратов защиты.
3. Устройство и принцип работы плавких предохранителей.
4. Параметры плавких предохранителей.
5. Устройство и принцип работы автоматического выключателя.
6. Виды расцепителей.
7. Параметры автоматических выключателей.

8. Какие сети следует защищать от токов перегрузки?
9. Условия защиты сети от перегрузок и ложных отключений при кратковременных токовых перегрузках?
10. Что называется током КЗ в конце защищаемого участка? Принцип расчета.
11. Что называется током КЗ в начале защищаемого участка? Принцип расчета.
12. Что такое селективность действия аппаратов защиты и как ее обеспечить?

## **6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ»**

### **6.1. Цель работы**

Ознакомление с основными сведениями о легкобрасываемых конструкциях (ЛСК), принципом их действия, нормативными требованиями. Приобретение навыков расчета требуемой площади ЛСК.

### **6.2. Общие сведения**

В помещениях зданий с взрывоопасными производствами (категорий А и Б) в аварийных ситуациях возможно образование газо-, паро- или пылевоздушных смесей (ГПВС). Взрыв образовавшейся ГПВС внутри здания может произойти при одновременном возникновении аварии и наличии источника воспламенения, например, электрической искры или открытого огня [1].

Аварийные последствия взрыва определяются как мощностью взрыва, так и условиями распространения давления взрыва внутри помещений здания. Нагрузки, возникающие при взрыве, могут во много раз превышать прочность несущих ограждающих конструкций. Наиболее тяжелым вариантом аварии является обрушение несущих конструкций здания, последствия которого усугубляются уничтожением оборудования и гибелью людей под разрушенными конструкциями. Если же после аварии несущие конструкции здания сохраняются, то восстановление здания требует значительно меньших затрат времени и средств.

Основным направлением обеспечения взрывозащиты является разработка систем предупреждения взрывов и разработка технологических процессов с учетом надежности их составляющих. Однако, несмотря на все предупредительные технологические и организационно-технические мероприятия, аварийные взрывы все же происходят.

Одним из эффективных способов уменьшения последствий взрыва является выполнение зданий и сооружений из конструкций, различных по прочности и сопротивлению давлению взрыва. В этом случае взрывное воздействие на основные несущие конструкции здания уменьшается за счет разрушения менее прочных элементов. Такие конструкции называют предохранительными или легкобрасываемыми.



**Легкосбрасываемые конструкции (ЛСК)** – это наружные ограждающие конструкции (или их элементы) зданий, сооружений и помещений с взрывоопасными производствами. При взрыве легкосбрасываемые конструкции разрушаются и образуют открытые проёмы для сброса избыточного давления взрыва

К ЛСК относятся окна, если в оконных переплетах установлено обычное оконное стекло; двери; распашные ворота; стеновые панели из асбестоцементных, алюминиевых или стальных листов с легким утеплителем; специальные плиты покрытия и пр.

### 6.2.1. Принцип действия ЛСК

Характер развития взрыва в замкнутом объеме показан на рис. 6.1, график 1. Как видно из этого графика, максимальное давление взрыва  $P_{взр}$  в замкнутом объеме может значительно превышать предельные значения давлений (нагрузок)  $P_{ок}$  на несущие конструкции, которые приводят к их разрушению. Если в помещении имеются достаточное количество открытых проемов, то взрывные нагрузки на основные конструкции не достигают опасных значений. Характер развития взрыва показан на рис. 6.1, график 2.

Защитное действие ЛСК состоит в том, что они должны начинать разрушаться в процессе развития взрыва при давлении продуктов взрыва  $P_p$  (см. соответствующую точку на рис. 6.1), которое значительно меньше  $P_{ок}$  и  $P_{взр}$ , и не наносит повреждений несущим конструкциям здания. В этом случае избыточные объемы продуктов взрыва вытесняются из помещений здания наружу через проемы, которые образуются в результате разрушения ЛСК.

Если в здании имеются ЛСК достаточной площади, и если их прочность и масса соответствующим образом подобраны, то взрывные нагрузки на основные конструкции могут быть уменьшены до величин, устанавливаемых из условий прочности или несущей способности основных конструкций. Условием работоспособности ЛСК является:

$$P_p < P_{ок} \quad (6.1)$$

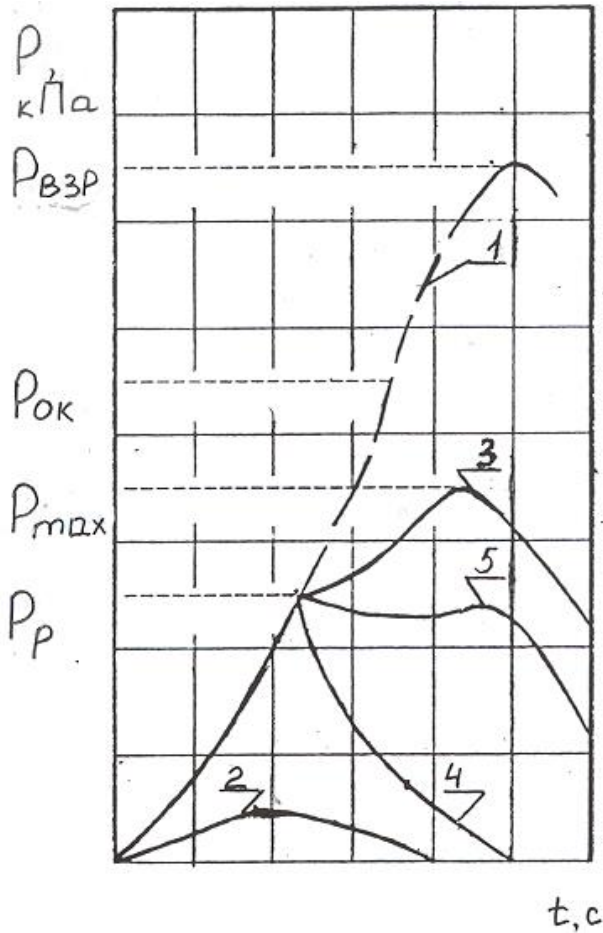


Рис.6.1. Изменение давления в объеме помещения при взрыве горючей смеси:

- 1 – в замкнутом объеме; 2 – в полузамкнутом объеме;
- 3 – при использовании ЛСК второй группы (инерционные);
- 4– при использовании ЛСК первой группы (безинерционные);
- 5– при использовании ЛСК первой и второй групп

### 6.2.2. Виды ЛСК

ЛСК по характеру работы подразделяют на 2 группы:

1. ЛСК с небольшой массой. Эти конструкции при взрыве разрушаются мгновенно, поэтому при их расчете силой инерции, возникающей при вскрытии (движении) ЛСК, пренебрегают. К этой группе относится глухое остекление.

2. ЛСК, масса которых значительна по сравнению с 1-й группой, и для которых силой инерции пренебречь нельзя. При разрушении этих ЛСК происходит относительно медленное (не мгновенное) вскрытие проемов в ограждающих конструкциях, снижение давления взрыва происходит не сразу. К этой группе относятся поворотные остекленные переплеты, стеновые панели, плиты покрытий, распашные ворота и пр.

Инерционность ЛСК оказывает существенное влияние на характер изменения взрывных нагрузок на конструкции. Чтобы обеспечить свободное истечение газов из помещения, ЛСК при срабатывании должны быть либо полностью разрушены, либо воздействием взрыва отброшены на некоторое расстояние от проемов.

При расчетах принимается, что ЛСК 1-й группы разрушаются практически мгновенно. Характер изменения давления показан на рис. 6.1, график 4.

ЛСК 2-й группы при срабатывании обычно не разрушаются или разрушаются не полностью, открытие проемов в ограждающих конструкциях происходит за счет падения или отбрасывания элементов ЛСК. Поэтому вначале наблюдается дальнейшее возрастание давления в помещении до величины  $P_{\max}$ , затем его сбрасывание до безопасных значений (см. рис. 6.1, график 3). При расчете ЛСК этого типа проверяется также условие

$$P_{\max} < P_{ok} \quad (6.2)$$

Как правило, в большинстве зданий взрывоопасных производств применяются ЛСК 1-го. При недостаточной их площади дополнительно применяются ЛСК 2-го типа. Совместная работа обоих типов ЛСК показана на рис. 6.1, график 5

### 6.2.3. Конструктивные решения ЛСК

Обычное оконное остекление является наиболее эффективным легкосбрасываемым устройством, т.к. стекло обладает хрупким разрушением и малой инерционностью. Для обеспечения эффективности ЛСК-остекления необходимо, чтобы размеры оконного

стекла были достаточно большими, так как при малой площади пластин стекла значительно возрастает величина разрушающего давления. Поэтому для взрывоопасных зданий рекомендуется только одинарное остекление с размерами пластин 0,6 м<sup>2</sup> и более. Для уменьшения давления вскрытия остекления рекомендуется производить надрезку стекол со стороны, противоположной приложению давления взрыва, ослабленные крепления стекол в переплетах оконных переплетов должны открываться наружу и иметь шарнирное закрепление с одной стороны [17,20].

По расположению ЛСК могут быть разделены на стеновые ЛСК, устраиваемые в стеновом ограждении, и легкобрасываемые покрытия. При прочих равных условиях, стеновые ЛСК более эффективны, чем ЛСК-покрытия, т.к. могут проектироваться практически без нагружения, за счет чего они выполняются более легкими и подвижными. Относительная эффективность стеновых ЛСК достигает 30 % по сравнению с покрытиями.

Двери, ворота и другие поворотные устройства являются также достаточно эффективными ЛСК при условии, что в случае взрыва обеспечивается легкий поворот их вокруг шарниров или подвеса и открывание происходит наружу. Для этого необходимо, чтобы устройства, удерживающие их в закрытом положении, срабатывали при фиксированном значении давления  $P_p$ . Стеновые крупноразмерные панели из облегченных асбестоцементных, алюминиевых или пластиковых листов с легким утеплителем могут быть использованы в качестве ЛСК, если крепление их к опорным элементам выполнено так, что отрыв панелей происходит при требуемом значении давления  $P_p$ .

В качестве ЛСК-покрытий применяются облегченные плиты свободного опирания, по которым уложен легкий утеплитель и водоизоляционный ковер, разрезаемый на карты с устройством ЛСК-швов.

Эксперименты показывают, что эффективность открывающихся ЛСК и стеновых панелей может быть выше, чем у остекления при надлежащем исполнении запорных и крепежных устройств. Это обусловлено тем, что при реальных взрывах в оконных проемах может оставаться некоторая часть остекления, затрудняющая свободный сброс давления.

### 6.3. Нормативные требования

В СП 56.13330.2011 [21] указано, что в помещениях категорий А и Б следует предусматривать наружные легкобрасываемые

ограждающие конструкции. В качестве легкобрасываемых конструкций следует, как правило, использовать одинарное остекление окон и фонарей. При недостаточной площади остекления допускается в качестве легкобрасываемых конструкций использовать конструкции покрытий с кровлей из стальных, алюминиевых, асбестоцементных и битумных волнистых листов, из гибкой черепицы, металлочерепицы, асбестоцементных и сланцевых плиток и эффективного негорючего утеплителя. Площадь легкобрасываемых конструкций следует определять расчетом. При отсутствии расчетных данных площадь легкобрасываемых конструкций должна составлять не менее  $0,05 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема помещения категории А и не менее  $0,03 \text{ м}^2$  - помещения категории Б.

Оконное стекло относится к легкобрасываемым конструкциям при толщине 3, 4 и 5 мм и площади не менее (соответственно)  $0,8$ ,  $1$  и  $1,5 \text{ м}^2$ . Армированное стекло, стеклопакеты, триплекс, сталинит и поликарбонат к легкобрасываемым конструкциям не относятся.

Рулонный ковер на участках легкобрасываемых конструкций покрытия следует разрезать на карты площадью не более  $180 \text{ м}^2$  каждая.

Расчетная нагрузка от массы легкобрасываемых конструкций покрытия должна составлять не более  $0,7 \text{ кПа}$ .

## 6.4. Расчетная часть

### 6.4.1. Задание по работе

Определить требуемую площадь ЛСК, выполненных в виде листового двойного остекления, и сравнить ее с имеющейся площадью остекления, принятой из условия требуемой естественной освещенности.

Объем помещения принять равным  $V = 20000 \text{ м}^3$

Исходные данные для выполнения работы согласно номеру варианта, который задает преподаватель, принимают по табл.6.1.

Таблица 6.1

## Исходные данные

Вариант	Вещество	Масса вещества E, кг	Толщина стекла, мм	Площадь листов, м <sup>2</sup>	Соотношение сторон стекла	Площадь остекления, м <sup>2</sup>
1	Метан	300	3	1,0	1:1,5	450
2	Водород	420	4	1,2	1:1	950
3	Пропан	380	5	2,0	1:1,33	480
4	Ацетилен	340	3	1,2	1:1,75	650
5	Гептан	500	4	2,0	1:1,33	510
6	Пропилен	450	5	1,5	1:1,5	550
7	Этилен	290	4	1,5	1:1,75	600
8	Бензол	260	3	0,8	1:1	460
9	Пентан	380	5	1,5	1:2	800
10	Изооктан	520	4	1,5	1:1,75	730

### 6.4.2. Расчет требуемой площади ЛСК, выполненных из стекла

Требуемая площадь остекления  $K^{cm}$  на 1 м<sup>3</sup> объема помещения определяется по формуле:

$$K^{cm} = \frac{2,187 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma \cdot \mathcal{E}_p \cdot \sqrt[3]{(\mathcal{E}_p - 1)} \cdot (P_p^{cm} + P_0)}{\sqrt{P_p^{cm}} \cdot \sqrt[3]{P_p^{cm}} \cdot \Pi}, \text{ м}^2/\text{м}^3 \quad (6.3)$$

где  $\Gamma$  – нормальная скорость горения взрывоопасной смеси, м/с;

$\mathcal{E}_p$  – расчетная степень расширения продуктов горения.

$P_p^{cm}$  – воздействие взрыва на листовое стекло;

$P_0$  – атмосферное давление, Па;

$\Pi$  – объем помещения в пределах внутренних поверхностей ограждающих конструкций, м<sup>3</sup>.

Расчетная степень расширения продуктов горения  $\mathcal{E}_p$  определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E} \cdot \alpha + 1, \quad (6.4)$$

где  $\mathcal{E}$  – максимальная степень расширения продуктов горения;

$\alpha$  – коэффициент заполнения объема помещения взрывоопасной смесью. Принимается по табл.6.3 в зависимости от процентного содержания смеси в объеме помещения  $\beta$ :

$$\beta = \frac{1000 \cdot E}{C \cdot \Pi} \cdot 100\% \quad (6.5)$$

где  $E$  – количество вещества, поступившего в помещение, кг;

$C$  – стехиометрическая концентрация взрывоопасной смеси, г/м<sup>3</sup>.

Воздействие взрыва на листовое стекло  $P_p^{cm}$  определяется по формуле:

$$P_p^{cm} = P^{cm} \cdot Y, \text{ кПа} \quad (6.6)$$

где  $P^{cm}$  – воздействие взрыва, разрушающее листовое стекло с соотношением сторон 1:1, кПа (табл.);

$Y$  – коэффициент условий работы.

Зная коэффициент  $K^{cm}$ , можно определить требуемую площадь остекления  $\Phi_{cm}$  в  $\text{м}^2$  по формуле:

$$\Phi_{cm} = K^{cm} \cdot \Pi, \text{ м}^2 \quad (6.7)$$

### 6.4.3. Порядок выполнения расчета

1. По табл.6.2 находим параметры заданного взрывоопасного вещества: нормальную скорость горения  $\Gamma$ , максимальную степень расширения продуктов горения  $\mathcal{E}$  и стехиометрическую концентрацию  $C$ .

2. По формуле (6.5) определить процентное содержание взрывоопасной смеси в объеме помещения  $\beta$ . Значения  $E$  и  $\Pi$  принять из задания по работе.

3. По табл.6.3 найти коэффициент  $\alpha$  заполнения объема помещения взрывоопасной смесью.

4. По формуле, (6.4) определить расчетную степень расширения продуктов горения  $\mathcal{E}_p$ .



Таблица 6.2  
Характеристики взрывоопасных веществ

Вещество	Стехиометрическая концентрация взрывоопасной смеси, $C$ , г/м <sup>3</sup>	Максимальная степень расширения продуктов горения, $\varepsilon$	Нормальная скорость горения смеси, $G$ , м/с
Ацетилен	98,2	8	1,57
Бензол	104,9	8	0,478
Водород	40,4	7,3	2,67
Гептан	91,7	8	0,424
Изооктан	92,1	8	0,346
Метан	91,5	7,5	0,338
Пентан	90,8	7,5	0,885
Пропан	89,2	8	0,455
Пропилен	94,2	8,5	0,683
Этилен	94,4	8	0,74

Таблица 6.3  
Коэффициенты заполнения объема помещения взрывоопасной смесью

Содержание смеси в объеме помещения $\beta$ , %	Коэффициенты заполнения объема помещения взрывоопасной смесью $\alpha$ при максимальной степени расширения продуктов горения $\varepsilon$								
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
1,0	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,10
1,5	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11	0,12
2,5	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,17	0,18
3,0	0,12	0,13	0,14	0,16	0,16	0,18	0,19	0,19	0,20
4,0	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
5,0	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30
10,0	0,35	0,36	0,38	0,39	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47
15,0	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,55	0,56	0,58
20,0	0,55	0,56	0,58	0,59	0,60	0,61	0,63	0,64	0,65
30,0	0,66	0,68	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76
40,0	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81	0,82
50,0	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87
60,0	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,91

Содержание смеси в объеме помещения $\beta$ , %	Коэффициенты заполнения объема помещения взрывоопасной смесью $a$ при максимальной степени расширения продуктов горения $\Xi$								
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
70,0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94
80,0	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
90,0	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

5. По исходным данным и табл.6.4 найти воздействие взрыва  $P^{cm}$ , разрушающее листовое стекло с соотношением сторон 1:1, по табл.6.5 – коэффициент условий работы  $Y$ .

6. По формуле , кПа (6.6) найти воздействие взрыва на листовое стекло  $P_p^{cm}$ .

7. По формуле (6.3) определить требуемую площадь остекления  $K^{cm}$  на 1 м3 объема помещения.

8. По формуле (6.7) определить требуемую площадь остекления  $\Phi_{cm}$ .

Таблица 6.4  
Воздействие взрыва, разрушающее стекло с соотношением сторон 1:1

Толщина стекла, мм	Воздействие взрыва $P^{cm}$ , разрушающего двойное остекление, Н/м <sup>2</sup> при площади одного листа стекла $\Phi$ , м <sup>2</sup>				
	0,8	1	1,2	1,5	2,0
3	3500	2500	2000	1800	1100
4	–	3800	3000	2300	1800
5	–	–	–	3800	3100

Таблица 6.5

 Коэффициент условий работы  $У$ 

Соотношение сторон стекла	1:1	1:1,33	1:1,5	1:1,75	1:2	1:3
Коэффициент условий работы $У$	1	1,04	1,08	1,16	1,25	1,38

### 6.5. Оценка результатов расчетов и выводы по работе

Полученную в результате расчетов требуемую для ЛСК площадь остекления  $\Phi_{ст}$  следует сравнить:

- с требованиями СП [21];
- с фактическим значением имеющейся площадью остекления, принятой в исходных данных из условия требуемой естественной освещенности.

На основании сравнения сделать выводы.

В случае, если результаты расчетов не соответствуют нормативным значениям, либо существующей площади остекления, необходимо предложить наиболее целесообразные мероприятия и технические решения по снижению последствий взрывов в рассматриваемом здании (см. [17, 20], а также приведенные ниже рекомендации), после чего следует, если возможно, выполнить перерасчет по пп.0 и 6.4.3.

### 6.6. Рекомендации по снижению последствий взрывов

- увеличить, по возможности, площадь оконных проемов;
- уменьшить толщину стекла (но не менее, чем до 3 мм);
- увеличить площадь листа остекления;
- уменьшить соотношение сторон стекла, ближе к 1:1;
- увеличить объем помещения, в том числе, за счет объединения с соседними, либо объединения 2-х этажей, расположенных один над другим;
  - использовать дополнительно к остеклению другие виды ЛСК;
  - уменьшить количество взрывоопасных веществ, обращающихся в помещении;

- заменить взрывоопасные вещества на вещества невзрывоопасные или вещества с менее взрывоопасными свойствами;
- устранить вероятные источники зажигания;
- предусмотреть устройство аварийной вентиляции и обеспечить ее резервными вентиляторами, автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывоопасной концентрации и электроснабжением по первой категории надежности.

### 6.7. Контрольные вопросы

1. Что называется ЛСК?
2. Принцип действия ЛСК.
3. Виды ЛСК.
4. Конструктивные решения ЛСК.
5. Нормативные требования к ЛСК.
6. Приведите рекомендации по снижению последствий взрывов.
7. Назовите основные параметры, определяющие взрывопожароопасность веществ.
8. Назовите основные способы предупреждения взрывов на предприятиях.

## 7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ»

### 7.1. Цель работы

Ознакомление с основными сведениями о категорировании помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. Приобретение навыков определения категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.

### 7.2. Общие сведения и нормативные требования

Классификация зданий и помещений по взрывопожарной и пожарной опасности регламентируется СП 12.13130.2009 [22] и применяется для установления требований пожарной безопасности к производственным зданиям, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара.

Взрывопожароопасность помещений и зданий характеризуется совокупностью условий, способствующих возникновению и развитию пожара или взрыва и определяющих их возможные масштабы и последствия. Эти условия, в первую очередь, характеризуются опасностью технологического процесса и конструктивно-планировочными особенностями здания. Технологическим процессом определяется вероятность возникновения пожара или взрыва, скорость распространения и размеры пожара. От конструктивно-планировочных решений во многом зависят границы распространения пожара и его последствия.

В [22] применяются следующие термины и определения:

– **аварийная ситуация:** ситуация, характеризующая вероятность возникновения аварии с возможностью дальнейшего ее развития;

– **взрывоопасная смесь:** смесь воздуха или окислителя с горючими газами, парами легковопламеняющихся жидкостей, горючими пылями или волокнами, которая при определенной концентрации и возникновения источника инициирования взрыва способна взорваться;

– **категория пожарной (взрывопожарной) опасности объекта:** квалификационная характеристика пожарной (взрывопожарной) опасности здания (или частей здания между

противопожарными стенами – пожарных отсеков), сооружения, строения, помещения, наружной установки;

– **пожар в помещении:** процесс диффузионного горения твердых, жидких и газообразных горючих веществ, находящихся в помещении, вызывающий прогрев строительных конструкций и технологического оборудования с возможной потерей ими несущей способности;

– **пожарная нагрузка:** количество теплоты, которое может выделиться в помещение при пожаре;

– **удельная пожарная нагрузка:** количество теплоты, которое может выделиться в помещение при пожаре, отнесенное к площади размещения находящихся в помещении горючих и труднгорючих веществ и материалов.

Помещения в зависимости от вида, свойств и количества горючих веществ и материалов, а также условий их применения и обработки разделяют по взрывопожарной и пожарной опасности на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания – на категории А, Б, В, Г и Д.

Определение пожароопасных свойств веществ и материалов производится на основании результатов испытаний или расчетов по стандартным методикам с учетом параметров состояния (давления, температуры и т.д.).

**Категории помещений** по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с табл.7.1.

Нетрудно заметить, что отличительной характеристикой категорий помещений А и Б является большая величина расчетного избыточного давления взрыва в помещении (более 5 кПа). Расчетное избыточное давление взрыва в помещении, определяется по формулам (приложение А к [22]) в зависимости от вида вещества, его свойств и количества в помещении, объема помещения.

Таблица 7.1

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, обращающихся в помещении
А Повышенная взрывопожароопасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б Взрывопожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28°C, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1-В4 Пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категориям А или Б
Г Умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д Пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в табл.7.1, от наиболее опасной

(А) к наименее опасной (Д). Таким образом, определяют категории для всех помещений в здании.

Категории **зданий** по взрывопожарной и пожарной опасности определяют исходя из доли и суммированной площади помещений той или иной категории опасности в этом здании.

**Здание относится к категории А**, если в нем суммированная площадь помещений категории А превышает 5% площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

**Здание не относится к категории А**, если суммированная площадь помещений категории А в здании не превышает 25% суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>) и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

**Здание относятся к категории Б**, если одновременно выполняются следующие условия: здания не относятся к категории А и суммированная площадь помещений категорий А и Б превышает 5% суммированной площади всех помещений или 200 м<sup>2</sup>.

**Здание не относятся к категории Б**, если суммированная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25% суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м<sup>2</sup>) и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

**Здание относится к категории В**, если одновременно выполняются следующие условия: здание не относится к категории А или Б и суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2 и В3 превышает 5% (10% если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений.

**Здание не относится к категории В**, если суммированная площадь помещений категории А, Б, В1, В2 и В3 в здании не превышает 25% суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м<sup>2</sup>), и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

**Здание относятся к категории Г**, если одновременно выполняются следующие условия: здание не относится к категориям А, Б или В и суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2, В3 и Г превышает 5% суммированной площади всех помещений.

**Здание не относятся к категории Г**, если суммированная площадь помещений А, Б, В1, В2, В3 и Г в здании не превышает 25% суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м<sup>2</sup>), и помещения категории А, Б, В1, В2 и В3 оснащаются установками автоматического пожаротушения.



**Здание относится к категории Д** если оно не относится к категориям А, Б, В или Г.

Правильное определение категорий взрывопожароопасной и пожарной опасности зданий является одним из основных аспектов повышения безопасности труда на производстве. В случае необоснованного занижения категории здания под угрозу ставится жизнь работающих в нем людей, сохранность зданий и технологического оборудования. Завышение категорий приводит к необоснованным затратам на строительство (завышается степень огнестойкости здания, возникает необходимость устройства легкобросываемых конструкции и т.п.), установке дорогостоящего (во взрывобезопасном исполнении) оборудования, аварийной вентиляции и т.п. При этом существенно удорожается и эксплуатации промышленных объектов.

### 7.3. Расчетная часть

#### 7.3.1. Задание по работе

Определить категорию взрывопожарной опасности трехэтажного здания, в котором размещено деревообрабатывающее производство. Потенциальными взрывоопасными веществами являются:

- взрывоопасная древесная пыль, образующаяся в помещении на 2-м этаже, в котором осуществляется первичная обработка пиломатериалов площадью  $F_1$ ;
- пары ацетона (используемого в качестве растворителя для лака), которые выделяются в помещении площадью  $F_2$  на 3-м этаже при покрытии деревянных конструкций;
- пары ацетона в помещении площадью  $F_3 = 60 \text{ м}^2$ , в котором готовится лак;
- взрывоопасная пыль, образующаяся в помещении на 3-м этаже площадью  $F_7 = 420 \text{ м}^2$ , в котором полируется покрытые лаком поверхности;
- высота помещений каждого этажа составляет  $H_э = 4,0 \text{ м}$ ;
- текущая уборка пыли в помещениях производится ежедневно, а генеральная  $T_{ген}$  уборка – 1 раз в месяц, т.е. через 24 смены, при односменной работе.

Остальные производственные помещения здания опасности с точки зрения возможного взрыва не представляют, т.к. в них осуществляется только лишь сушка, сортировка и хранение древесины, а также ее сборка и хранение готовой продукции. Бытовые и подсобные помещения расположены равномерно на каждом этаже здания.

Таблица 7.2

## Исходные данные

Наименование показателя	Номер варианта			
	1	2	3	4
Площадь помещения $F_1$ , м <sup>2</sup>	720	660	600	560
Площадь помещения $F_2$ , м <sup>2</sup>	1400	1500	1600	1800
Масса пыли, выделяющейся в объем помещения $F_1$ за смену, кг	10	15	20	25
Объем емкости для лака $V_{лак}$ в помещении $F_2$ , л	25	26	27	28
Теплота сгорания древесной пыли, $H_T$ , Дж/кг	1,09*10 <sup>6</sup>			
Интенсивность испарения ацетона, $W_i$ , кг/м <sup>2</sup> с	0,00021			

Исходные данные для выполнения работы согласно номеру варианта, который задает преподаватель, принимают по табл.7.2.

План типового этажа здания показан на рис.7.1.

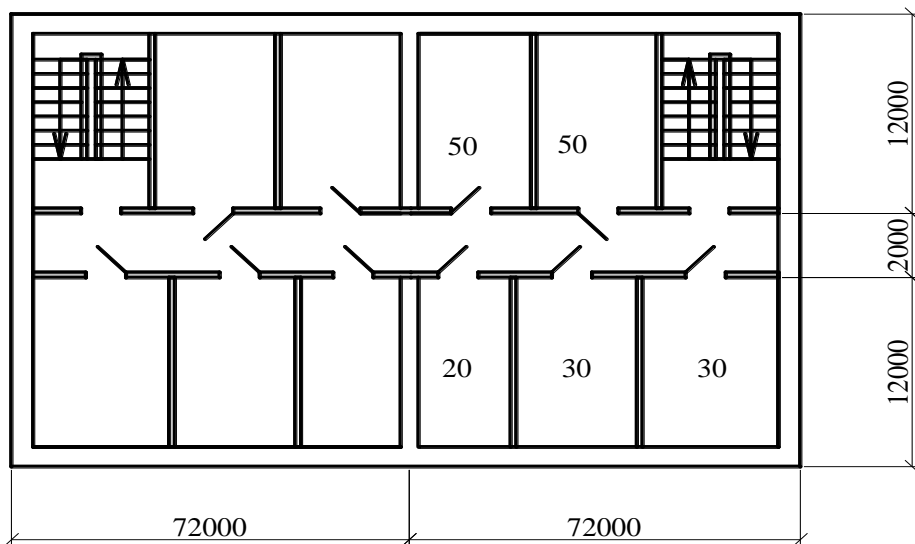


Рис. 7.1. План типового этажа здания

### 7.3.2. Порядок выполнения расчетов

1. Определить категорию помещения площадью  $F_1$  на втором этаже, в котором выделяется взрывоопасная пыль. Для этого следует:

1.1. Определить массу пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещениях за время между генеральными уборками:

$$m_1 = M_1(1 - \alpha) \cdot \beta_1, \text{ кг}, \quad (7.1)$$

где  $M_1$  – масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между генеральными уборками, кг.

$$M_1 = M_2 \cdot T_{ген}, \text{ кг}, \quad (7.2)$$

$M_2$  – масса пыли, выделяющаяся за смену, кг (по заданию);

$T_{ген}$  – период времени между генеральными уборками в помещении смен (по заданию);

$\alpha$  – доля выделяющейся в помещении пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами. При отсутствии данных полагается  $\alpha = 0$ , т.е. вся пыль остается в помещении. Для расчета принимаем  $\alpha = 0,8$ ;

$\beta_1$  – доля выделяющейся пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях помещения, т.е. на таких поверхностях, которые не убираются при текущих уборочных работах. Величина  $\beta_1$  может быть определена экспериментально или задана технологами. При отсутствии данных принимается  $\beta_1 = 1$ , т.е. вся оставшаяся в помещении пыль накапливается, а не убирается. Для расчета принимаем  $\beta_1 = 0,2$ .

1.2. Определить массу пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях, т.е. на поверхностях, убираемых при текущих уборочных работах:

$$m_2 = M_2(1 - \alpha) \cdot \beta_2, \text{ кг}, \quad (7.3)$$

где  $\beta_2$  – доля выделяющейся в помещении пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях, определяется из соотношения

$$\beta_2 + \beta_1 = 1, \text{ кг}, \quad (7.4)$$

1.3. Определить массу отложившейся в помещении взрывоопасной пыли к моменту расчетной аварии

$$m_n = \frac{K_z}{K_y} (m_1 + m_2), \text{ кг}, \quad (7.5)$$

где  $K_2$  – доля горючей пыли в общей массе отложенной пыли. Величина определяется экспериментально по специальным методикам. Для пыли древесины принимаем  $K_2 = 1$ , т.е. вся пыль является горючей;

$K_y$  – коэффициент эффективности пылеуборки.

При ручной сухой пылеуборке  $K_y = 0,6$ , при ручной влажной пылеуборке  $K_y = 0,7$ , при механизированной вакуумной пылеуборке (ровный пол)  $K_y = 0,9$ , при механизированной вакуумной пылеуборке (пол с выбоинами до 5% площадей)  $K_y = 0,7$ . Для расчета принимаем наихудший случай ручной уборки:  $K_y = 0,6$ .

1.4. Определить расчетную массу взвихрившейся пыли

$$m_{\text{вз}} = K_{\text{вз}} \cdot m_n, \text{ кг}, \quad (7.6)$$

где  $K_{\text{вз}}$  – доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации, т.е. участвовать во взрыве. Величина определяется по специальным методикам и зависит от вида и свойств осевшей пыли. При отсутствии экспериментальных сведений принимается  $K_{\text{вз}} = 0,9$ .

1.5. Так как кроме осевшей в помещении пыли во взрыве может участвовать и пыль, поступившая в помещение во время аварии из каких-либо бункеров, трубопроводов и т.п., необходимо определить расчетную массу взвешенной в помещении пыли по формуле

$$m = m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}}, \text{ кг}, \quad (7.7)$$

где  $m_{\text{ав}}$  – расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг. Так как по условию задачи и при данной технологии мы не имеем емкостей с пылью, трубопроводов и т.п., то принимаем  $m_{\text{ав}} = 0$ .

1.6. Определить избыточное давление взрыва в помещении:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot z}{V_{св} \cdot \rho_в \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n}, \text{ Па}, \quad (7.8)$$

где  $H_T$  – теплота сгорания древесной пыли, Дж/кг (по заданию);

$P_0$  – начальное давление в помещении, кПа.

Принимаем  $P_0 = 101$  кПа;

$z$  – коэффициент участия горючей пыли во взрыве. Принимаем  $z = 0,5$ ;

$V_{св}$  – свободный объем помещения, м<sup>3</sup>. Объем, не занятый технологическим оборудованием, трубопроводами и т.п. При отсутствии данных принимается равным 80% геометрического объема помещения;

$\rho_в$  – плотность воздуха до взрыва, кг/м<sup>3</sup>. Принимаем  $\rho_в = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>

$C_p$  – теплоемкость воздуха, Дж К/кг. Принимаем

$C_p = 1,01 \cdot 10^3$  Дж К/кг;

$T_0$  – температура воздуха в помещении до взрыва, К;

$K_n$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Исходя из реальных условий большинства производственных помещений, в которых давление взрыва примерно в 3 раза ниже давления, достигаемого в идеальном случае, принимаем  $K_n = 3$ .

1.7. На основании рассчитанной в п.1.6 величины избыточного давления взрыва в помещении следует отнести заданное помещение на втором этаже площадью  $F_1$  к категории «Б» (при  $\Delta P > 5$  кПа), либо к категории «В» (при  $\Delta P \leq 5$  кПа).

2. Определить категорию остальных помещений 2-го этажа.

2.1. Согласно условию задачи, все остальные помещения 2-го этажа относим к пожароопасной категории «В» без расчета, т.к. в этих помещениях взрывоопасная пыль отсутствует, имеются только твердые горючие материалы.

3. Определить категорию помещений 3-го этажа.

3.1. Категорию помещения 3-го этажа здания площадью  $F_7$ , в котором выполняется полировка покрытых лаком поверхностей, принимаем по аналогии с помещением, рассмотренном в п.1 без детализации расчетов. Данное помещение относим к взрывоопасной категории «Б» ( $\Delta P > 5$  кПа). Остальные помещения этажа также по аналогии с помещениями 2-го этажа и п.2.1 относим к пожароопасной категории «В»

4. Определить категорию помещения площадью  $F_2$  на третьем этаже, в котором выделяются пары ацетона. Для этого следует:

4.1. Определить массу паров жидкости, поступивших в помещение в случае расчетной аварии:

$$m = m_p + m_{емк} + m_{св.окр}, \text{ кг}, \quad (7.9)$$

где  $m_p$  – масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг;

$m_{емк}$  – масса жидкости, испарившейся с поверхности открытых емкостей, кг. По условию задачи  $m_{емк} = 0$ ;

$m_{св.окр}$  – масса жидкости, испарившейся со свежеокрашенных поверхности, кг.

4.2. Определить массу жидкости, испарившейся с поверхности разлива, по формуле:

где  $W$  – интенсивность испарения, кг/м<sup>2</sup> с (по заданию);

$F_u$  – площадь испарения, м<sup>2</sup>. Принимается исходя из расчета, что один литр жидкости разливается на 1 м<sup>2</sup> поверхности пола [22];

$T$  – длительность испарения жидкости, с. Принимается равной времени полного испарения разлитой жидкости, но не более 3600 сек. При меньшем предполагаемом времени определяется по формуле:

$$T = \frac{q}{W}, \text{ с}, \quad (7.10)$$

где  $q$  – количество разлившейся жидкости на 1 м<sup>2</sup> пола, кг/м<sup>2</sup>. Определяется по формуле:

$$q = q_v \cdot \rho_{жс}, \text{ кг/м}^2, \quad (7.11)$$

где  $q_v$  – количество жидкости на 1 м<sup>2</sup>;

$\rho_{жс}$  – плотность жидкости, кг/л. Для ацетона при комнатной температуре  $\rho_{жс} = 0,802$  кг/л.

4.3. Массу жидкости, испарившейся со свежеокрашенной поверхности, определяем по формуле:

$$m_{св.окр} = W \cdot F_{св.окр} \cdot T, \text{ кг}, \quad (7.12)$$

где  $F_{св.окр}$  – площадь свежеокрашенной поверхности, м<sup>2</sup>. Определяется условиями технологического процесса. Принимаем  $F_{св.окр} = 50$  м<sup>2</sup>.

$T$  – длительность испарения жидкости. Принимаем  $T = 1000$  с.

4.4. Определяем избыточное давление взрыва в помещении:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{m \cdot z}{V_{св} \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}, \text{ кПа}, \quad (7.13)$$

где  $P_{\max}$  – максимальное давление взрыва паровоздушной смеси в замкнутом объеме, кПа. Величина  $P_{\max}$  за-



висит от вида вещества, концентрации паров и других параметров применяемого вещества. При отсутствии данных принимается равным  $P_{\max} = 900$  кПа;

$\rho_n$  – плотность паров ацетона. Принимаем равным  $\rho_n = 2,41$  кг/м<sup>3</sup>. Значения  $P_0, z, V_{св}, K_H$  приняты ранее;

$C_{см}$  – стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ, такая концентрация, когда давление взрыва имеет максимальное значение

$$C_{см} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (7.14)$$

где  $\beta$  – стехиометрический коэффициент участия кислорода в реакции сгорания, определяемый по формуле:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2}, \quad (7.15)$$

где  $n_C, n_H, n_O, n_X$  - число атомов углерода (С), водорода (Н), кислорода (О) и галогенов (F, Cl, Br и др.) в молекуле горючего. Формула ацетона C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O.

4.5. С учетом полученной величины избыточного давления взрыва в помещении, делаем вывод о принадлежности помещения к категории А (при  $\Delta P > 5$  кПа), т.к. для ацетона температура вспышки  $t_{всп} = +18^\circ\text{C}$  (меньше  $+28^\circ\text{C}$ ) или категории В (при  $\Delta P < 5$  кПа).

5. Принимаем без расчета, который был выполнен по аналогии с предыдущими расчетами, для помещения на 3-м этаже, в котором готовится лак ( $F_3 = 60$  м<sup>2</sup>) категорию А.

6. Для определения категории здания необходимо, исходя из условий задачи, плана этажа, полученных категорий для помещений, вычислить:

– суммарную площадь помещений категории А ( $F_A$ ) м<sup>2</sup>;

- то же категории Б ( $F_B$ ), м<sup>2</sup>;
- то же категории В ( $F_B$ ), м<sup>2</sup>;
- суммарную площадь ( $F_0$ ) всех помещений здания (без коридоров и лестничных клеток), м<sup>2</sup>.

7. Определить категорию здания, воспользовавшись методикой, приведенной ранее.

### 7.3.3. Оценка результатов расчетов и выводы по работе

Вывод по работе должен отвечать на условие поставленной задачи, т.е. обозначить полученную расчетом категорию здания.

## 7.4. Рекомендации по категорированию помещений и зданий

Рекомендациями по проделанной работе могут быть организационные и технические мероприятия и решения, направленные на обеспечение взрывобезопасности для помещений, которые по результатам расчетов имеют категории А и Б. Для таких помещений в соответствии с действующими нормами предусматривается:

- оборудовать помещения установками автоматического пожаротушения;
- предусмотреть в этих помещениях устройство легко-сбрасываемых конструкции;
- уменьшить по возможности количество взрывоопасного вещества или заменить его веществом с менее опасными свойствами;
- предусмотреть устройство аварийной вентиляции с автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывоопасной концентрации и электроснабжением по первой категории надежности;
- предусмотреть применение оборудования во взрывобезопасном исполнении;
- регламентировать в использование в этих помещениях искробезопасного инструмента;
- регламентировать периодичность уборки помещений от накапливающейся взрывоопасной пыли.

## 7.5. Контрольные вопросы

1. Каким нормативным документом регламентируется классификация зданий и помещений по взрывопожарной и пожарной опасности?

2. Назовите категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.
3. Каким образом определяют категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности?
4. Укажите порядок расчета категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.
5. Каковы рекомендации по категорированию помещений и зданий?

## **8. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»**

### **8.1. Цель работы**

Приобретение навыков определения требуемой и фактической степеней огнестойкости зданий, анализа их соответствия, расчет путей эвакуации в зданиях на примере решения задачи по пожарной безопасности.

### **8.2. Условие задачи**

В существующем 3-х этажном здании предполагается разместить деревообрабатывающее производство. Сведения о конструкциях здания и численности работников в каждом из помещений типового этажа приведены в табл.8.1. План типового этажа приведен на рис.8.1.

Исходя из противопожарных требований, необходимо решить вопрос о соответствии существующего здания новой функции, в случае необходимости наметить меры по его реконструкции, рассчитать пути эвакуации, определить величину противопожарного разрыва до строящегося рядом здания V степени огнестойкости.

Таблица 8.1.

## Сведения о конструкциях здания

Наименование конструкции	Толщина конструкции, мм	Предел огнестойкости, мин	Степень огнестойкости здания по конструктивному элементу
Стены наружные кирпичные	510		
Стены внутренние кирпичные	380		
Колонны ж/б с нагрузкой более 75% от нормативной	300x300		
Междуэтажные перекрытия из металлических балок (толщина стенки 12 мм) с негорючим заполнителем, толщина штукатурки 20 мм	–		
Лестницы: – ступени ж/б с рабочей арматурой класса (А-300) и толщиной защитного слоя 30 мм; – косоуры металлические толщиной стенки 12 мм	–		

### 8.3. План решения задачи:

1. Определение фактической степени огнестойкости существующего здания
2. Определение требуемой степени огнестойкости здания для новой его функции
3. Анализ соответствия требуемой и фактической степеней огнестойкости, меры по приведению в соответствие
4. Расчет путей эвакуации
5. Определение величины противопожарного разрыва

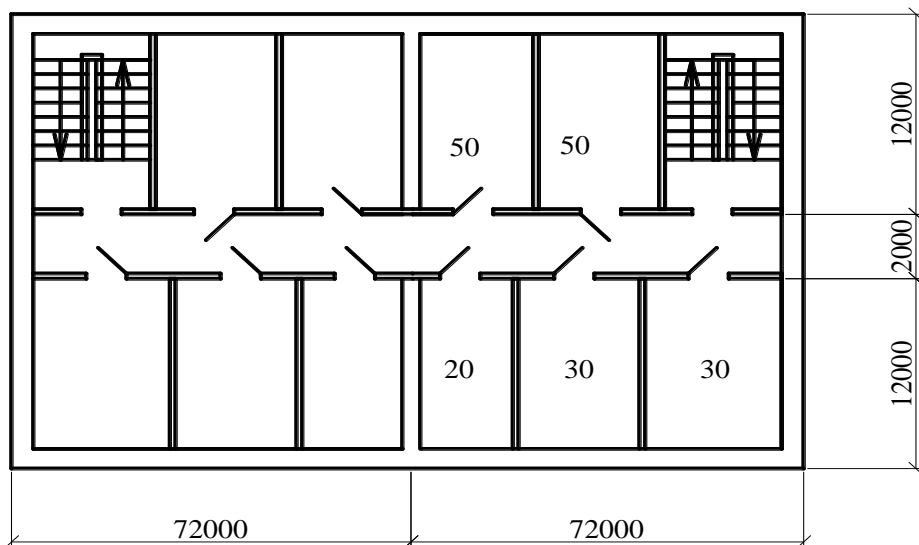


Рис.8.1. План-схема типового этажа

## 8.4. Решение задачи:

### 8.4.1. Определение фактической степени огнестойкости существующего здания

#### 8.4.1.1. Общие сведения и основные понятия

Здания, сооружения, строения и пожарные отсеки по степени огнестойкости подразделяются на здания, сооружения, строения и пожарные отсеки I, II, III, IV и V степеней огнестойкости (статья 30 [23]).

**Пожарный отсек** – часть здания, сооружения и строения, выделенная противопожарными стенами и противопожарными перекрытиями или покрытиями, с пределами огнестойкости конструкции, обеспечивающими нераспространение пожара за границы пожарного отсека в течение всей продолжительности пожара [23].

**Противопожарная преграда** – строительная конструкция с нормированными пределом огнестойкости и классом конструктивной пожарной опасности конструкции, объемный элемент здания или иное инженерное решение, предназначенные для предотвращения распространения пожара из одной части здания, сооружения, строения в другую или между зданиями, сооружениями, строениями, зелеными насаждениями [23].

**Степень огнестойкости зданий**, сооружений, строений и пожарных отсеков – классификационная характеристика зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков, определяемая пределами огнестойкости конструкций, применяемых для строительства указанных зданий, сооружений, строений и отсеков.

**Предел огнестойкости** строительной конструкции (заполнения проемов противопожарных преград) – промежуток времени от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного из нормированных для данной конструкции (заполнения проемов противопожарных преград) предельных состояний [23].

Пределы огнестойкости строительных конструкций определяются в условиях стандартных испытаний. Наступление пределов огнестойкости несущих и ограждающих строительных конструкций в условиях стандартных испытаний или в результате расчетов устанавливается по времени достижения одного или последовательно нескольких из следующих признаков предельных состояний (статья 35 [23]):

1. потеря несущей способности ( $R$ );
2. потеря целостности ( $E$ );
3. потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений ( $I$ ) или достижения предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии от необогреваемой поверхности конструкции ( $W$ ).

Пределы огнестойкости строительных конструкций должны соответствовать принятой степени огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков. Соответствие степени огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков и предела огнестойкости применяемых в них строительных конструкций приведено в табл.8.2 (табл. 21 прил. к [23]).



Таблица 8.2.

Соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков

Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в т.ч. чердачные и надподвальные)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в т.ч. с утеплителем)	фермы, балки	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется						



8.4.1.2. Строительные конструкции классифицируются по огнестойкости для установления возможности их применения в зданиях, сооружениях, строениях и пожарных отсеках определенной степени огнестойкости или для определения степени огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков (ст. 34 [23]).

Теперь понятно – чтобы дать ответ на вопрос о фактической степени огнестойкости здания, необходимо знать пределы огнестойкости всех строительных конструкций, из которых оно состоит. Пределы огнестойкости стандартных конструкций приведены в справочных материалах. Выборка из справочных материалов приведена в табл.8.3. Полученные данные о пределах огнестойкости конструкций «нашего» здания заносим в колонку 3 табл.8.1.

8.4.1.3. На основании полученных данных о пределах огнестойкости основных строительных конструкций с учетом требований табл.8.2 делаем вывод о степени огнестойкости здания по каждому конструктивному элементу. Полученные данные заносим в колонку 4 табл.8.1.

8.4.1.4. Делаем вывод о степени огнестойкости здания в целом.

#### **8.4.2. Определение требуемой степени огнестойкости здания для размещения деревообрабатывающего производства**

8.4.2.1. Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков должна устанавливаться в зависимости от их этажности, класса функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов (ст. 87 [23]).

Таблица 8.3.

Пределы огнестойкости некоторых типовых строительных конструкций

№№ п/п	Наименование конструкции	Толщина или наименьший размер сечения конструкции, см	Предел огнестойкости, мин
<b>Стены и перегородки</b>			
1.	Стены и перегородки из силикатного и обыкновенного и дырчатого глиняного кирпича	6,5 12 25 38	45 150 330 660
<b>Стойки, колонны и столбы</b>			
2.	Бетонные и ж/б, в том числе с жесткой арматурой при нагрузке: а) не более 75% нормативной  б) более 75% нормативной	20x20 20x30 20x20 20x30 20x40 30x30 и 20x50 30x50 40x40	120 150 75 105 150 180 210 240
<b>Перекрытия и покрытия, марши лестничных клеток</b>			
3.	Перекрытия и покрытия по стальным балкам (прогонам, фермам) при негорючих плитах (настилах): а) при незащищенных балках, прогонах, фермах б) при защите балок перекрытий по сетке слоем бетона или штукатуркой толщиной: 10 мм 20 мм 30 мм	-  - - -	15  45 90 150
4.	Стальные конструкции лестниц: косоуры, балки, защищенные штукатуркой толщиной 1 см	-	90
<b>Двери, люки, ворота</b>			
5.	Со стальными пустотелыми (с воздушными прослойками) полотнищами	-	30
6.	То же при заполнении прослойки минеральным войлоком или минеральной ватой	8	78
7.	С деревянными полотнищами, обшитыми по асбестовому картону толщиной не менее 5 мм кровельной сталью внахлестку при толщине деревянной части полотнищ:	3 4 5	60 78 90

Таблица 6.1 СП 2.13130.2009

Категория зданий или пожарных отсеков	Высота здания*, м	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Площадь этажа, м <sup>2</sup> в пределах пожарного отсека зданий		
				одноэтажных	в 2 этажа	в 3 этажа и более
А.Б	36	I	С0	Не огр.	5200	3500
А	36	II	С0	Не огр.	5200	3500
	24	III	С0	7800	3500	2600
	—	IV	С0	3500	—	—
Б	36	II	С0	Не огр.	10400	7800
	24	III	С0	7800	3500	2600
	—	IV	С0	3500	—	—
В	48	I, II	С0	Не огр.	25000	10400
	24	III	С0	25000	7800**	5200**
					10400	5200
					5200**	3600**
18	IV	С0, С1	25000	10400	—	
18	IV	С2, С3	2600	2000	—	
12	V	Не норм.	1200	600***	—	
Г	54	I, II	С0	Не ограничивается		
	36	III	С0	Не огр.	25000	10400
	30	IV	С1	То же	10400	7800
	24	IV	С0	-//-	10400	5200
	18	IV	С1	6500	5200	-
Д	54	I, II	С0	Не ограничивается		
	36	III	С0	Не огр.	50000	15000
	30	III	С1	То же	25000	10400
	24	IV	С0, С1	-//-	25000	7800
	18	IV	С2, С3	10400	7800	-
	12	V	Не норм.	2600	1500	-

\* Высота здания измеряется от пола 1-го этажа до потолка верхнего этажа, включая технический; при переменной высоте потолка принимается средняя высота этажа. Высота одноэтажных зданий класса пожарной опасности С0 и С1 не нормируется.

\*\* Для деревообрабатывающих производств

\*\*\* Для лесопильных цехов с числом рам до четырех, деревообрабатывающих цехов первичной обработки древесины и рубильных станций дробления древесины

8.4.2.2. На этапе проектирования или проведения экспертизы требуемая степень огнестойкости производственных зданий (и степень конструктивной пожарной опасности) определяется по табл.6.1 СП 2.13130.2009 [24] с учетом категории взрывопожарной опасности здания, его этажности и площади этажа в пределах пожарного отсека здания – см. табл.8.4.

8.4.2.3. Без расчета (самостоятельная задача) принимаем, что проектируемое здание для нашей задачи имеет взрывоопасную категорию Б.

8.4.2.4. Пользуясь табл.8.4., делаем вывод о требуемой степени огнестойкости и классе конструктивной пожарной опасности для 3-х этажного здания взрывоопасной категории Б. Выписываем ограничение по максимально допустимой площади этажа в пределах пожарного отсека здания.

### **8.4.3. Анализ соответствия требуемой и фактической степеней огнестойкости, меры по приведению в соответствие**

8.4.3.1. Видя формальное несоответствие фактической и требуемой степеней огнестойкости, делаем вывод о возможности размещения в существующем 3-х этажном здании деревообрабатывающего производства пожароопасной категории Б при **условии**:

а) замены косоуров (возможно целиком лестничных маршей) на конструкцию с большим пределом огнестойкости, достаточным для здания III степени огнестойкости (требуемый предел огнестойкости по табл.8.2 – R45);

б) возможности разделения здания на два пожарных отсека, имеющих площадь в пределах нормативных требований.

8.4.3.2. Формулируем проектное предложение в части повышения предела огнестойкости косоуров до требуемого значения с учетом данных табл.8.3.

Таблица 8.5.  
Таблица 23 Технического регламента [23]

Наименование противопожарных преград	Тип противопожарных преград	Предел огнестойкости противопожарных преград	Тип заполнения проемов в противопожарных преградах	Тип тамбур-шлюза
Стены	1	REI 150	1	1
	2	REI 45	2	2
Перегородки	1	EI 45	2	1
	2	EI 15	3	2
Светопрозрачные перегородки с остеклением площадью более 25 процентов	1	EIW 45	2	1
	2	EIW 15	3	2
Перекрытия	1	REI 150	1	1
	2	REI 60	2	1
	3	REI 45	2	1
	4	REI 15	3	2

8.4.3.3. Проверяем возможность использования внутренней стены в качестве противопожарной стены I типа:

а) проверяем соответствие фактического предела огнестойкости стены (табл.8.1) нормативному пределу огнестойкости для противопожарной стены 1 типа (табл.8.5);

**ВЫВОД:** требование выполняется.

б) проверяем требования к противопожарной стене I типа в части ее опирания на фундамент (фундаментную балку), разделения всех конструкций всех этажей, возвышения над поверхностью кровли;

**ВЫВОД:** требование выполняется.

в) проверяем требование по максимальной площади проемов в противопожарной стене I типа с учетом требования п.5.3.4 СП [24] – «Общая площадь проемов в противопожарных преградах, за исключением ограждений лифтовых шахт, не должна превышать 25% их площади»;

**ВЫВОД:** требование выполняется.

г) формулируем проектное предложение в части конструкции противопожарных дверей (выбираем вариант двери из табл. 8.3) в противопожарной стене I типа для выполнения требований по пределу огнестойкости (табл. 8.6);

Таблица 8.6.

Пределы огнестойкости заполнения проемов в противопожарных преградах  
(Таблица 24 Технического регламента [23])

Наименование элементов заполнения проемов в противопожарных преградах	Тип заполнения проемов в противопожарных преградах	Предел огнестойкости
Двери (за исключением дверей с остеклением более 25% и дымогазонепроницаемых дверей), ворота, люки, клапаны, шторы и экраны	1	EI 60
	2	EI 30
	3	EI 15
Двери с остеклением более 25%	1	EIW 60
	2	EIW 30
	3	EIW 15
Дымогазонепроницаемые двери (за исключением дверей с остеклением более 25%)	1	EIS 60
	2	EIS 30
	3	EIS 15
Дымогазонепроницаемые двери с остеклением более 25%, шторы и экраны	1	EIWS 60
	2	EIWS 30
	3	EIWS 15
Двери шахт лифтов	2	EI 30 (в зданиях высотой не более 28 м принимается E 30)
Окна	1	EI 60
	2	EI 30
	3	EI 15
Занавесы	1	EI 60

д) при пожаре проемы в противопожарных преградах должны быть защищены от проникновения опасных факторов пожара. Двери в противопожарных преградах должны иметь устройства для самозакрывания и уплотнения в притворах. Двери, ворота, люки и клапаны, которые могут эксплуатироваться в откры-

том положении, должны быть оборудованы устройствами, обеспечивающими их автоматическое закрывание при пожаре (п.4.22 СП [25]).

**ВЫВОД:** формулируем проектное предложение о необходимости устройств для автоматического закрывания дверей при пожаре.

## 8.5. Расчет путей эвакуации

### 8.5.1. Общие сведения и основные понятия

**Эвакуация** – процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, в которых имеется возможность воздействия на людей опасных факторов пожара.

Каждое здание, сооружение или строение должно иметь объемно-планировочное решение и конструктивное исполнение эвакуационных путей, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей при пожаре. При невозможности безопасной эвакуации людей должна быть обеспечена их защита посредством применения систем коллективной защиты.

Для обеспечения безопасной эвакуации людей должны быть:

1) установлены необходимое количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и эвакуационных выходов;

2) обеспечено беспрепятственное движение людей по эвакуационным путям и через эвакуационные выходы;

3) организованы оповещение и управление движением людей по эвакуационным путям (в том числе с использованием световых указателей, звукового и речевого оповещения).

Безопасная эвакуация людей из зданий, сооружений и строений при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре (ст. 53 ТР [23]).

Количество и ширина эвакуационных выходов из помещений с этажей и из зданий определяются в зависимости от максимально возможного числа эвакуируемых через них людей и предельно допустимого расстояния от наиболее удаленного места возможного пребывания людей (рабочего места) до ближайшего эвакуационного выхода (ст. 89 ТР [23]).

**Эвакуационный выход** – выход, ведущий на путь эвакуации, непосредственно наружу или в безопасную зону.

К эвакуационным выходам из зданий, сооружений и строений относятся выходы (ст. 89 ТР [23]), которые ведут:

1) из помещений первого этажа наружу: а) непосредственно; б) через коридор; в) через вестибюль (фойе); г) через лестничную клетку; д) через коридор и вестибюль (фойе); е) через коридор, рекреационную площадку и лестничную клетку;

2) из помещений любого этажа, кроме первого: а) непосредственно на лестничную клетку или на лестницу 3-го типа; б) в коридор, ведущий непосредственно на лестничную клетку или на лестницу 3-го типа; в) в холл (фойе), имеющий выход непосредственно на лестничную клетку или на лестницу 3-го типа; г) на эксплуатируемую кровлю или на специально оборудованный участок кровли, ведущий на лестницу 3-го типа;

3) в соседнее помещение (кроме помещения класса Ф5 категорий А и Б), расположенное на том же этаже и обеспеченное выходами, указанными в пунктах 1 и 2 настоящей части. Выход из технических помещений без постоянных рабочих мест в помещениях категорий А и Б считается эвакуационным, если в технических помещениях размещается оборудование по обслуживанию этих пожароопасных помещений.

**Эвакуационный путь (путь эвакуации)** – путь движения и (или) перемещения людей, ведущий непосредственно наружу или в безопасную зону, удовлетворяющий требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре.

**Необходимое время эвакуации** – время с момента возникновения пожара, в течение которого люди должны эвакуироваться в безопасную зону без причинения вреда жизни и здоровью людей в результате воздействия опасных факторов пожара.

### 8.5.2. Количество эвакуационных выходов

8.5.2.1. Не менее двух эвакуационных выходов должны иметь (п.4.2.1. и 9.1.1 СП 1.13130.2009[26]):

– помещения, предназначенные для одновременного пребывания более 50 чел.;

– помещения класса Ф5 категорий А и Б с численностью работающих в наиболее многочисленной смене более 5 чел., **категории В** – более 25 чел., или площадью более 1000 м<sup>2</sup>;

**Вывод:** требование выполняется частично! Для помещений категории Б с численностью работающих более 5 чел. и категории В с численностью более 25 чел. следует предусмотреть дополнительные эвакуационные выходы!



8.5.2.2. Не менее двух эвакуационных выходов должны иметь этажи зданий класса (п.9.1.2 СП [26]) Ф5 категорий А и Б при численности работающих в наиболее многочисленной смене более 5 чел., категории В – 25 чел.

Число эвакуационных выходов с этажа должно быть не менее двух, если на нем располагается помещение, которое должно иметь не менее двух эвакуационных выходов (п.4.2.3 СП [26]).

Части здания различной функциональной ПО, разделенные ПП преградами, должны быть обеспечены самостоятельными эвакуационными выходами.

**ВЫВОД:** требование не выполняется, так как в каждом отсеке имеется лишь одна ЛК (один выход).

8.5.2.3. При наличии двух эвакуационных выходов и более они должны быть расположены рассредоточено. (п.4.2.4 СП [26])

При наличии двух и более эвакуационных выходов общая пропускная способность всех выходов, кроме каждого одного из них, должна обеспечить безопасную эвакуацию всех людей, находящихся в помещении, на этаже или в здании.

**ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ:** о необходимости дополнительной ЛК для каждого из отсеков (возможен вариант объединения двух выходов в одной ЛК).

### 8.5.3. Длина путей эвакуации

8.5.3.1. Расстояние от наиболее удаленного рабочего места в помещении до ближайшего эвакуационного выхода из помещения непосредственно наружу или в ЛК не должно превышать значений, приведенных в таблице 29 СП [26] (см. табл. 8.7).

В нашем случае, например, для помещений категории **В**, объемом до 15 тыс. м<sup>3</sup>, для здания конструктивной пожарной опасности **С0** и **III** степени огнестойкости, при плотности людского потока (180 чел. : 144 м<sup>2</sup> = 1,3) это расстояние равно 60 м.

Плотность людского потока определяется как отношение количества людей, эвакуирующихся по общему проходу, к площади этого прохода.

**ВЫВОД:** требование выполняется для всех помещений!

Таблица 8.7.

Таблица 29 СП 1.13130.2009 [26] (извлечения)

Объем помещения, тыс. м <sup>3</sup>	Категория помещения	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Расстояние, м, при плотности людского потока в общем проходе, чел./м <sup>2</sup>		
				до 1	св. 1 до 3	св. 3 до 5
До 15	А, Б		С0	40	25	15
	В1 – В3	I, II, III, IV	С0	100	60	40
		III, IV V	С1 С2, С3	70 50	40 30	30 20
До 30	А, Б	I, II, III, IV	С0	60	35	25
	В1 – В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	145 100	85 60	60 40

8.5.3.2. Расстояние по коридору от двери наиболее удаленного помещения площадью не более 1 000 м<sup>2</sup> до ближайшего выхода наружу или в ЛК не должно превышать значений, приведенных в таблице 30 СП [26] (см. табл. 8.8)

При размещении на одном этаже помещений различных категорий расстояние по коридору от двери наиболее удаленного помещения до выхода наружу или в ближайшую лестничную клетку определяется по более опасной категории.

Плотность людского потока в коридоре определяется как отношение количества людей, эвакуирующихся из помещений в коридор, к площади этого коридора. При этом при дверях, открывающихся из помещений в общие коридоры, ширина общего коридора должна приниматься уменьшенной: на половину ширины дверного полотна — при одностороннем расположении дверей; на ширину дверного полотна — при двустороннем расположении дверей.

В нашем случае (между двумя выходами в ЛК) например, для помещений категории **Б**, объемом до 15 тыс. м<sup>3</sup>, для здания конструктивной пожарной опасности **С0** и **III** степени огнестойкости, при плотности людского потока (180 чел. : 86,4 м<sup>2</sup> = 2,08) это расстояние равно 50 м.

**ВЫВОД:** требование выполняется!

Таблица 8.8.

Таблица 30 СП 1.13130.2009 [26]

Расположение выхода	Категория помещения	Степень огнестойкости и здания	Класс констр. ПО здания	Расстояние по коридору, м, до выхода наружу или в ближайшую ЛК при плотности людского потока в коридоре, чел./м <sup>2</sup>			
				до 2	св. 2 до 3	св. 3 до 4	св. 4 до 5
Между двумя выходами наружу или ЛК	А, Б	I, II, III, IV	С0	50	50	40	35
Между двумя выходами наружу или ЛК	В1 – В3	I, II, III, IV II, IV Не нор.	С0	120	95	80	85
			С1	85	65	55	45
	В4, Г, Д	I, II, III, IV II, IV Не нор.	С2, С3	80	50	40	35
			С0	180	140	120	100
В тупиковый коридор	Независимо от категории	I, II, III, IV II, IV Не нор.	С1	125	100	85	70
			С2, С3	90	70	60	50
			С0	3	25	20	15
			С1	20	15	15	10
			С2, С3	15	10	10	8

### 8.5.4. Габариты путей эвакуации

8.5.4.1. Высота эвакуационных выходов в свету (п.4.2.5 СП [26]) должна быть не менее 1,9 м, ширина не менее не менее 0,8 м.

Ширина эвакуационных выходов в свету (для производственных помещений) должна быть не менее 1,2 м при числе эвакуирующихся более 50 чел. (п.9.1.3 СП [26]).

Во всех случаях ширина эвакуационного выхода должна быть такой, чтобы с учетом геометрии эвакуационного пути через проем или дверь можно было беспрепятственно пронести носилки с лежащим на них человеком.

8.5.4.2. Ширину эвакуационного выхода (двери) из помещений следует принимать в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход, и количества людей на 1 м ширины выхода (двери), установленного в таблице 31 СП [26] (см. табл. 8.9), но не менее 0,9 м при наличии в числе работающих инвалидов с нарушениями опорно-двигательного аппарата (п.9.2.11 СП [26]).

Таблица 8.9.

Таблица 31 СП 1.13130.2009 [26] (извлечения)

Объем помещения, тыс. м <sup>3</sup>	Категория помещения	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Количество людей на 1 м ширины эвакуационного выхода (двери), чел.
До 15	А, Б	I, II, III, IV	С0	45
	В1 – В3	I, II, III, IV III, IV Не норм.	С0 С1 С2, С3	110 75 55
До 30	А, Б	I, II, III, IV	С0	65
	В1 – В3	I, II, III, IV III, IV	С0 С1	155 110
Независимо от объема	Д	Не нормируется		

В нашем случае: (максимальное количество работающих в помещении – 50 чел.), например, для помещений до 15 тыс. м<sup>3</sup>, категорий В здания III степени огнестойкости и С0 класса конструктивной пожарной опасности ширина дверей по расчету  $50:110=0,45$  м.

**РЕШЕНИЕ:** Из условия минимальной ширины принимаем все двери по 0,8 м.

8.5.4.3. Двери эвакуационных выходов и другие двери на путях эвакуации (п.4.2.6 СП [26]) должны открываться по направлению выхода из здания (есть некоторые исключения – не для нашего случая).

8.5.4.4. Проверяем ширину коридора:

1) Ширина горизонтальных участков путей эвакуации и пандусов в свету должна быть не менее 1,2 м — для общих коридоров, по которым могут эвакуироваться из помещений более 50 чел. (п.9.1.5 СП [26]).

2) Геометрическая ширина (по плану) – 2 м.

3) При дверях, открывающихся из помещений в общие коридоры (а у нас так и принято), за ширину эвакуационного пути по коридору следует принимать ширину коридора, уменьшенную на ширину дверного полотна при двухстороннем расположении дверей (п.4.3.3 СП [26]), т.е. **2 м – 2 × 0,4 м = 1,2 м**

**ВЫВОД:** соответствует!

8.5.4.5. Ширину эвакуационного выхода (двери) из коридора наружу или в ЛК следует принимать в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход, и количества людей на 1 м ширины выхода (двери), установленного в таблице 32 СП [26] (см. табл. 8.10), но не менее 0,8 м, при наличии работающих инвалидов с нарушениями опорно-двигательного аппарата – не менее 0,9 м.

Таблица 8.10.

Таблица 32 СП 1.13130.2009 [26]

Категория наиболее опасного помещения, выходящего в коридор	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Количество людей на 1 м ширины эвакуационного выхода (двери) из коридора, чел.
А, Б	I, II, III, IV	С0	85
В1 – В3	I, II, III, IV II, IV Не нор.	С0	175
		С1	120
		С2, С3	85
В4, Г, Д	I, II, III, IV II, IV Не нор.	С0	260
		С1	180
		С2, С3	130

В нашем случае: (максимальное количество работающих в пожарном отсеке – 180 чел.), например, для этажа, на котором расположено помещение категорий Б, здания III степени огнестойкости и С0 класса конструктивной ПО - ширина дверей по расчету  $180:85 = 2,1$  м.

**ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ:** принимаем все двери, например, по 2,1 м.

8.5.4.6. Ширина марша лестницы, предназначенной для эвакуации людей, в том числе расположенной в лестничной клетке, должна быть не менее расчетной или не менее ширины любого эвакуационного выхода (двери) на нее, но, как правило, не менее (п.4.4.1 СП [26]):

а) 1,35 м – для зданий класса Ф 1.1 (*детские дошкольные учреждения, специализированные дома престарелых и инвалидов (неквартирные), больницы, спальные корпуса школ-интернатов и детских учреждений*);

б) 1,2 м для зданий с числом людей, находящихся на любом этаже, кроме первого, более 200 чел.;

в) 0,7 м – для лестниц, ведущих к одиночным рабочим местам;

г) 0,9 м – для всех остальных случаев.

**ВЫВОД:** соответствует!

8.4.5.7. Ширина лестничных площадок, должна быть не менее ширины марша, а перед входами в лифты с распашными дверями – не менее суммы ширины марша и половины ширины двери лифта, но не менее 1,6 м (п.4.4.3 СП [26]).

8.4.5.8. Ширина наружных дверей ЛК и дверей из ЛК в вестибюль должна быть не менее расчетной или ширины марша лестницы (п. 6.16 СНиП 21-01-97 [27]).

## 8.5. Определение величины противопожарного разрыва

### 8.5.1. Общие сведения и основные понятия

**Противопожарный разрыв (противопожарное расстояние)** – нормированное расстояние между зданиями, строениями и (или) сооружениями, устанавливаемое для предотвращения распространения пожара (ТР [23]).

Расстояния между зданиями, сооружениями и строениями, от складов, открытых технологических установок, агрегатов и оборудования до зданий, сооружений и строений, между складами, открытыми технологическими установками, агрегатами и оборудованием, от газгольдеров для горючих газов до зданий, сооружений и строений на территории производственного объекта в зависимости от степени огнестойкости, категории зданий по взрывопожарной и пожарной опасности и других характеристик должны исключать возможность перехода пожара от одного здания, сооружения или строения к другому (статья 100 ТР [23]).

### 8.5.2. Определение величины противопожарного разрыва

Противопожарные расстояния между жилыми, общественными и административными зданиями, сооружениями и строениями промышленных организаций в зависимости от степени огнестойкости и класса их конструктивной пожарной опасности следует принимать в соответствии с таблицей 1 СП 4.13130.2009 [25] (см. табл. 8.11).

Таблица 8.11.

Противопожарные расстояния между зданиями, сооружениями и строениями в зависимости от степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности

Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности	Минимальные расстояния при степени огнестойкости и классе конструктивной пожарной опасности зданий, сооружения и строений, метры		
		I, II, III C0	II, III, IV C1	IV, V C2, C3
I, II, III	C0	6	8	10
II, III, IV	C1	8	10	12
IV, V	C2, C3	10	12	15

Расстояния между зданиями, сооружениями и строениями на территории производственных объектов в зависимости от степени



огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности и категории по взрывопожарной и пожарной опасности следует принимать не менее указанных в таблице 2 СП [25] (см. табл. 8.12.).

**Вывод:** формулируем проектное предложение о величине противопожарного разрыва между рассматриваемыми зданиями.

Таблица 8.12.

Таблица 2 СП 4.13130.2009 [25]

Степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности	Расстояние между зданиями, м		
	I и II степень огнестойкости, III и IV степень огнестойкости класса C0	III степень огнестойкости класса C1	III степень огнестойкости классов C2 и C3, IV степень огнестойкости классов C1, C2 и C3, V степень огнестойкости
I и II степень огнестойкости, III и IV степень огнестойкости класса C0	Не нормируется для зданий категорий Г и Д 9 – зданий (сооружений) категорий А, Б и В	9	12
III степень огнестойкости класса C1	9	12	15
III степень огнестойкости классов C2 и C3, IV степень огнестойкости классов C1, C2 и C3, V степень огнестойкости	12	15	18

### 8.6. Контрольные вопросы

1. Что называется пожарным отсеком, противопожарной преградой, степенью огнестойкости здания?
2. Дайте определение предела огнестойкости строительной конструкции. По каким признакам он определяется?
3. Как определяется требуемая степень огнестойкости здания?
4. Укажите порядок определения фактической степени огнестойкости здания.
5. Что называется эвакуацией людей из здания? Чем она обеспечивается?

6. Какие выходы являются эвакуационными?
7. Укажите требования к количеству и расположению эвакуационных выходов.
8. Что называется путем эвакуации? Как определяется его длина?
9. Укажите требования к габаритам путей эвакуации.
10. Что называется противопожарным разрывом? Как определяется и от каких параметров зависит его величина?

## 9. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА «РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ»

### 9.1. Цель работы:

Приобретение студентами навыков разработки мероприятий по безопасности труда в проектной документации.

### 9.2. Общие сведения

Архитектурно-строительное проектирование в соответствии с Градостроительным Кодексом РФ [29] осуществляется путем подготовки **проектной документации** применительно к объектам капитального строительства и их частям, строящимся, реконструируемым в границах принадлежащего застройщику земельного участка, а также в случаях проведения капитального ремонта объектов капитального строительства, если при его проведении затрагиваются конструктивные и другие характеристики надежности и безопасности таких объектов (далее также – капитальный ремонт).

Проектная документация представляет собой документацию, содержащую материалы в текстовой форме и в виде карт (схем) и определяющую архитектурные и инженерно-технические решения для обеспечения строительства, реконструкции объектов капитального строительства, их частей, капитального ремонта, если при его проведении затрагиваются конструктивные и другие характеристики надежности и безопасности объектов капитального строительства.

Состав и требования к содержанию разделов проектной документации в соответствии с требованиями Кодекса [29] установлены Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 №87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [30].

Выпускная квалификационная работа (ВКР) является заключительным этапом обучения студентов в университете. При выполнении ВКР студент должен использовать полученные теоретические знания для решения практических задач в соответствии с заданием на проектирование.

Раздел «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) является обязательным самостоятельным разделом ВКР, при выполнении которого студент должен проявить свои знания по вопросам безопасности труда, экологической безопасности и пожарной безопасности.

Раздел БДЖ выполняется студентом на основании задания, выдаваемого преподавателем-консультантом кафедры БТП в сроки, установленные общим заданием на ВКР.

Раздел БЖД для специалистов состоит из четырех частей: 1) «Безопасность труда», 2) «Охрана окружающей среды», 3) «Пожарная безопасность», 4) «Расчетная часть». Общий объем раздела не должен превышать 15-18 страниц машинописного текста. Объем и содержание каждой из частей зависит от проекта, специальности (направления подготовки и профиля) студента и определяется преподавателем-консультантом.

Раздел БЖД для бакалавров состоит из двух частей: 1) «Безопасность труда» (или «Охрана окружающей среды», или «Пожарная безопасность») и 2) «Расчетная часть».

Поскольку ВКР со всеми разделами, включая БЖД, не является «рефератом на тему...», поэтому все приводимые в разделе решения и мероприятия должны быть четкими и конкретными, «привязанными» к проектируемому объекту. Недопустимо простое цитирование разделов и статей нормативно-правовых актов. Такие описательные части раздела не являются проектными решениями и приниматься консультантами не будут. В отдельных случаях, при описании организационных и некоторых технических мероприятий допускается употребление в разделе таких слов - как «запрещается», «должно быть», «следует» и т.п.

При изложении раздела в конце текста по каждому из принятых решений необходимо приводить ссылки на соответствующие нормативно-правовые акты (но не на учебную литературу). При таких ссылках в квадратных скобках указывается порядковый номер источника информации из общего списка использованной литературы ВКР.

Список цитируемых нормативно-правовых актов следует обязательно согласовать с консультантом с тем, чтобы избежать упоминания устаревших или вовсе отмененных документов.

Выполненный в соответствии с приведенными требованиями раздел представляется консультанту на проверку. В процессе консультирования в раздел вносятся необходимые исправления и дополнения. Исправленный и оформленный в соответствии с настоящими требованиями раздел подписывается консультантом. При этом студенты, имеющие в составе ВКР графическую часть по разделу «Организация строительства» должны указать на листах отдельные принятые решения и представить их консультанту при подписании раздела.

### 9.3. Безопасность труда

#### 9.3.1. Схема планировочной организации земельного участка

В пояснительной записке:

- местоположение объекта, площадь занимаемого участка;
- границы участка с юга, севера, востока и запада;
- ограждение участка, организация въездов-выездов и проходных пунктов;
- зонирование территории участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства, обоснование функционального назначения и принципиальной схемы размещения зон, обоснование размещения зданий и сооружений (основного, вспомогательного, подсобного, складского и обслуживающего назначения) – для объектов производственного назначения;
- обоснование схем транспортных коммуникаций и их характеристики, обеспечивающих внешние и внутренние (в том числе межцеховые) грузоперевозки, - для объектов производственного назначения;
- характеристика и технические показатели транспортных коммуникаций (организация дорог, подъезды к местам погрузки и разгрузки, ширина дорог и радиусы закруглений, покрытие дорог, наличие свободной полосы для проезда пожарных машин) - для объектов производственного назначения;
- организация пешеходных дорожек (расположение, ширина).

В графической части:

- решения по планировке, благоустройству, озеленению и освещению территории;
- схемы движения транспортных средств на строительной площадке.

#### 9.3.2. Архитектурные решения

- решения, обеспечивающие естественное освещение помещений с постоянным пребыванием людей;
- мероприятия, обеспечивающие защиту помещений от шума, вибрации и другого воздействия.

### **9.3.3. Конструктивные и объемно-планировочные решения**

- обоснование номенклатуры, компоновки и складских и административно-бытовых помещений, иных помещений вспомогательного и обслуживающего назначения - для объектов производственного назначения;
- обоснование проектных решений и мероприятий, обеспечивающих снижение шума и вибрации, снижение загазованности помещений, удаление избытков тепла, соблюдение безопасного уровня электромагнитных и иных излучений, соблюдение санитарно-гигиенических условий.

### **9.3.4. Система электроснабжения**

- перечень мероприятий по заземлению (занулению) и молниезащите;
- описание системы рабочего и аварийного освещения;
- организация наружного освещения территории (площадки строительства).

### **9.3.5. Система водоснабжения**

- сведения о расчетном (проектном) расходе воды на хозяйственно-питьевые нужды, в том числе на автоматическое пожаротушение и техническое водоснабжение, включая обратное.

### **9.3.6. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха**

- обоснование принятых систем и принципиальных решений по отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха помещений (для обеспечения требуемых параметров микроклимата и чистоты воздуха);
- характеристика технологического оборудования, выделяющего вредные вещества, – для объектов производственного назначения.

### **9.3.7. Технологические решения:**

- перечень мероприятий (к технологическим процессам и оборудованию: герметизация, размещение, проходы, ограждение опасных зон, сигнальная окраска и знаки безопасности и т.п.),

обеспечивающих соблюдение требований по охране труда при эксплуатации производственных и непроизводственных объектов капитального строительства (кроме жилых зданий).

#### 9.4. Проект организации строительства

##### В пояснительной записке:

- описание особенностей проведения работ в условиях действующего предприятия, в местах расположения подземных коммуникаций, линий электропередачи и связи - для объектов производственного назначения;
- описание особенностей проведения работ в условиях стесненной городской застройки, в местах расположения подземных коммуникаций, линий электропередачи и связи - для объектов непроизводственного назначения;
- обоснование размеров и оснащения площадок для складирования материалов, конструкций, оборудования, укрупненных модулей и стендов для их сборки (высота складирования, проезды и проходы). Решения по перемещению тяжеловесного негабаритного оборудования, укрупненных модулей и строительных конструкций;
- перечень мероприятий и проектных решений по определению технических средств и методов работы, обеспечивающих выполнение нормативных требований охраны труда;
- условия безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов и механизмов (опасные зоны, ограждение подкрановых путей и их оснащение, заземление);
- временные административные и санитарно-бытовые помещения (номенклатура и площади в соответствии с нормами);
- знаки безопасности и дорожные знаки;
- мероприятия по технике безопасности в технологической карте на выполнение работ (земляные, устройство искусственных оснований, бетонные, монтажные, каменные, отделочные, изоляционные, кровельные, монтаж инженерного оборудования, испытание оборудования и трубопроводов).

В графической части: строительный генеральный план подготовительного периода строительства (при необходимости) и основного периода строительства с определением:

- мест расположения постоянных и временных зданий и сооружений;
- мест размещения площадок и складов временного складирования конструкций, изделий, материалов и оборудования;
- мест установки стационарных кранов;

- путей перемещения кранов большой грузоподъемности;
- инженерных сетей;
- источников обеспечения строительной площадки водой, электроэнергией, связью;
- трасс сетей с указанием точек их подключения и мест расположения знаков закрепления разбивочных осей.

### 9.5. Охрана окружающей среды

- результаты оценки воздействия объекта капитального строительства на окружающую среду;
- перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов на период строительства и эксплуатации объекта капитального строительства, включающий:
  - результаты расчетов приземных концентраций загрязняющих веществ, анализ и предложения по предельно допустимым и временно согласованным выбросам;
  - обоснование решений по очистке сточных вод и утилизации обезвреженных элементов, по предотвращению аварийных сбросов сточных вод;
  - мероприятия по охране атмосферного воздуха;
  - мероприятия по оборотному водоснабжению - для объектов производственного назначения;
  - мероприятия по охране и рациональному использованию земельных ресурсов и почвенного покрова, в том числе мероприятия по рекультивации нарушенных или загрязненных земельных участков и почвенного покрова;
  - мероприятия по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке и размещению опасных отходов;
  - мероприятия по охране недр - для объектов производственного назначения;
  - мероприятия по охране объектов растительного и животного мира и среды их обитания (при наличии объектов растительного и животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и красные книги субъектов Российской Федерации, отдельно указываются мероприятия по охране таких объектов);
  - мероприятия по минимизации возникновения возможных аварийных ситуаций на объекте капитального строительства и последствий их воздействия на экосистему региона;



- мероприятия, технические решения и сооружения, обеспечивающие рациональное использование и охрану водных объектов, а также сохранение водных биологических ресурсов (в том числе предотвращение попадания рыб и других водных биологических ресурсов в водозаборные сооружения) и среды их обитания, в том числе условий их размножения, нагула, путей миграции (при необходимости);
- программу производственного экологического контроля (мониторинга) за характером изменения всех компонентов экосистемы при строительстве и эксплуатации объекта, а также при авариях;
- перечень и расчет затрат на реализацию природоохранных мероприятий и компенсационных выплат;
- обоснование границ санитарно-защитной зоны объекта капитального строительства;
- решения по благоустройству территории;
- перечень мероприятий по рациональному использованию воды;
- описание системы оборотного водоснабжения;
- сведения о существующих и проектируемых системах канализации, водоотведения и станциях очистки сточных вод;
- результаты расчетов о количестве и составе вредных выбросов в атмосферу и сбросов в водные источники (по отдельным цехам, производственным сооружениям) – для объектов производственного назначения;
- перечень мероприятий по предотвращению (сокращению) выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую среду;
- сведения о виде, составе и планируемом объеме отходов производства, подлежащих утилизации и захоронению, с указанием класса опасности отходов – для объектов производственного назначения;
- описание проектных решений и мероприятий по охране окружающей среды на период строительства.

### **9.6. Пожарная безопасность**

- описание системы обеспечения пожарной безопасности объекта капитального строительства;
- обоснование противопожарных расстояний между зданиями, сооружениями и наружными установками, обеспечивающих пожарную безопасность объектов капитального строительства;

- описание и обоснование проектных решений по наружному противопожарному водоснабжению, по определению проездов и подъездов для пожарной техники (емкости с водой их объем и расположение; пожарные гидранты их расположение друг от друга, от здания и дороги);
- описание и обоснование принятых конструктивных и объемно-планировочных решений, степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности строительных конструкций;
- описание и обоснование проектных решений по обеспечению безопасности людей при возникновении пожара;
- сведения о категории зданий, сооружений, помещений, оборудования и наружных установок по признаку взрывопожарной и пожарной опасности;
- перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и оборудованию автоматической пожарной сигнализацией;
- описание и обоснование противопожарной защиты (автоматических установок пожаротушения, пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, внутреннего противопожарного водопровода, противодымной защиты);
- описание и обоснование необходимости размещения оборудования противопожарной защиты, управления таким оборудованием, взаимодействия такого оборудования с инженерными системами зданий и оборудованием, работа которого во время пожара направлена на обеспечение безопасной эвакуации людей, тушение пожара и ограничение его развития, а также алгоритма работы технических систем (средств) противопожарной защиты (при наличии);
- описание организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта капитального строительства;
- организация мест для курения, первичные средства пожаротушения;

## 9.7. Расчетная часть

В расчетной части раздела по заданию консультанта (или по согласованию с ним) приводится обоснование одного из принятых в проекте решений по безопасности труда или экологической безопасности. Объем расчетной части не должен превышать 2-3-х страниц.

Примеры расчета по разделам «Безопасность труда» или «Пожарная безопасность» можно брать из методических указаний кафедры по выполнению контрольной работы по БЖД (Охрана труда) для студентов заочного факультета, которые, в том числе, имеются в электронном читальном зале библиотеки университета.

Расчетная часть по разделу «Охрана окружающей среды» может быть любого природоохранного направления, в том числе:

- рассчитать уровень шума в жилой зоне от работающих механизмов на строительной площадке;
- определить эффективность очистки воздуха (сточных вод) от загрязнений;
- рассчитать санитарно-защитную зону предприятия с учетом розы ветров;
- определить величину ущерба, причиняемого выбросами загрязняющих веществ в атмосферу;
- определить величину ущерба, причиняемого сбросами загрязняющих веществ в гидросферу;
- определить показатели отвода земель и разработать мероприятия по рекультивации земель при строительстве объекта;
- определить минимальную высоту источника выбросов в атмосферу;
- рассчитать загрязнение атмосферы выбросами одиночного источника;
- рассчитать загрязнение атмосферы выбросами от группы источников;
- определить ПДВ (ВСВ) предприятия;
- определить экономическую эффективность принятых в проекте природоохранных мероприятий;
- произвести оценку предотвращенного ущерба для окружающей среды;
- рассчитать плату за выбросы в атмосферу от стационарных источников;
- рассчитать плату за выбросы в атмосферу от передвижных источников;
- рассчитать плату за размещение отходов;
- рассчитать плату за сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные воды;
- рассчитать суммы возмещения ущерба за снос жизнеспособных растений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пчелинцев В.А. Охрана труда в строительстве: учебник для вузов по специальности "Промышленное и гражданское строительство" / В.А.Пчелинцев, Д.В.Коптев, Г.Г.Орлов. – М.: Высшая школа, 1991. – 272 с. – (Промышленное и гражданское строительство). - ISBN 5-06-002031-2.
2. Пушенко С.Л., Филь Е.С., Федина Е.В. Практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2013.– 101 с.
3. ГОСТ 12.1.050-86 (2003). ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах
4. ГОСТ 12.1.029-80 (2003). ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
5. ГОСТ 23499-2009. Материалы и изделия звукоизоляционные и звукопоглощающие строительные. Общие технические условия.
6. СанПиН 2.1.2.2645-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях с изменениями и дополнениями №1 (СанПиН 2.1.2.2801-10)
7. ГОСТ 31287-2005. Шум. Руководство по снижению шума в рабочих помещениях акустическими экранами
8. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
9. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования
10. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
11. ГОСТ 26568-85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация.
12. Пособие к МГСН 2.04-97 Проектирование защиты от шума и вибрации инженерного оборудования в жилых и общественных зданиях.
13. ГОСТ 12.1.046-85\* Нормы освещения строительных площадок
14. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*
15. СанПин 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

16. ГОСТ 17677-82. Светильники. Общие технические условия.
17. Правила устройства электроустановок (ПУЭ): утв. Министерством энергетики РФ 08.07.2002 г. Вводятся в действие с 01.01.2003 г. – 7-е изд.
18. Черкасов В.Н., Костарев Н.П. Пожарная безопасность электроустановок: Учебник. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. - 377 с.
19. Орлов Г.Г. Легкосбрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1987. 200 с.: ил.
20. Пилюгин Л.П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. Ассоциация «Пожарная безопасность и наука» 2000 г. - 224 с., ил.
21. СП 56.13330.2011. Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001
22. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
23. Федеральный Закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
24. СП 2.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».
25. СП 4.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным решениям».
26. СП 1.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».
27. СНиП 21-01-97\* «Пожарная безопасность зданий и сооружений».
28. СП 18.13330.2011. Генеральные планы промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП II-89-80\*.
29. Федеральный Закон РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации».
30. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 №87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».