

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Высшего образования**

**БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**КАФЕДРА БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ**

**Христофоров Е.Н.**

**ПРАКТИКУМ  
ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**



**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**Брянск – 2015**

УДК 658.345.

ББК 40.72

X 93

*Христофоров Е.Н. ПРАКТИКУМ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: Учебное пособие/ Е.Н. Христофоров. – Брянск.: Издательство Брянского ГАУ, 2015. – 110 с.*

Учебное пособие предназначено для студентов очной и заочной формы обучения направления 280700 Техносферная безопасность, изучающих дисциплины «Производственная безопасность» и «Безопасность жизнедеятельности».

Учебное пособие является дополнением к лекционным курсам по данным дисциплинам.

Рецензенты:

профессор кафедры математики, физики и информатики ФГБОУ ВО Брянского ГАУ д.т.н., доцент Н.Е. Сакович

Учебное пособие одобрено методической комиссией инженерно-технологического факультета. Протокол №7 от 17.04.2015 г.

© Христофоров Е.Н., 2015  
© Брянский ГАУ, 2015

## Содержание

Введение	
1 Расчет технических средств защиты от шума.....	6
1.1 Методики расчета снижения уровня шума конструктивными элементами.....	8
1.2 Расчет акустических экранов .....	11
1.3 Расчет звукопоглощающих облицовок .....	11
2 Расчет технических средств защиты от вибраций .....	15
2.1 Расчет виброизолирующих оснований.....	17
2.1.1 Расчет пружинных виброизоляторов.....	18
2.2 Расчет резиновых виброизоляторов.....	21
3 Расчет опасных зон .....	26
3.1 Расчет опасной зоны при работе на высоте.....	27
3.2 Расчет опасных зон при работе грузоподъемных машин.....	28
4 Расчет ограждений .....	30
5 Расчет предохранительных муфт.....	34
5.1 Муфта со срезанным штифтом.....	35
5.2 Зубчато-фрикционная муфта.....	36
6. Расчет на прочность канатов и строп грузоподъемных машин.....	38
7 Расчет на прочность емкостей и сосудов, работающих под давлением....	45
8 Расчет предохранительных устройств сосудов работающих под давлением.....	50
8.1 Расчет предохранительных клапанов.....	50
8.2 Расчет клапанов.....	52
8.3 Расчет предохранительных мембран.....	53
8.4 Расчет толщины теплоизоляции сосуда.....	54
9 Расчет параметров безопасности автомобилей, тракторов и машинно-тракторных агрегатов.....	56
9.1 Расчет параметров устойчивости.....	56
9.2 Расчет критической скорости опрокидывания.....	59

9.3 Расчет тормозного пути.....	59
10. Расчет технических средств электробезопасности.....	61
10.1 Расчет защитного заземления.....	62
10.2 Расчет зануления.....	67
11 Расчет молниезащиты.....	65
11.1 Расчет стержневого молниеотвода.....	71
12 Пожаро – взрывобезопасность.....	78
12.1 Расчет эвакуационных путей и выходов.....	81
12.2 Расчет пожарного запаса воды.....	83
12.3 Расчет взрывоопасности производственных помещений.....	84
12.3.1 Определение расчетного избыточного давления взрыва.....	84
12.3.2. Определение допустимого избыточного давления в помещении.....	87
13. Обеспечение безопасности земляных работ.....	92
13.1 Порядок проверки уступов и откосов выемок на устойчивость.....	93
13.2 Обеспечение устойчивости вертикальных стенок котлованов и траншей.....	96
14 Обеспечение безопасности строительных машин.....	103
14.1 Обеспечение устойчивости строительных машин и механизмов в процессе эксплуатации.....	105
Литература	
Приложение	

## **Введение**

Как и в любом учебном процессе, получение необходимого комплекса теоретических знаний и практических навыков базируется на основе единого гармоничного и последовательного процесса, построенного с учетом непрерывности, междисциплинарности и охватывающего все формы обучения: лекции, лабораторные и практические занятия, курсовое и дипломное проектирование и, конечно, производственные практики.

ГОСТ 12.0.004 – 90 «Организация обучения безопасности труда» предусматривает включать вопросы безопасности в дипломные проекты и курсовые работы студентов сельскохозяйственных высших и средних специальных учебных заведений. Это способствует улучшению качества подготовки будущих специалистов для решения многообразных вопросов охраны труда на производстве как при создании новых технологий, машин и оборудования, так и при реконструкции и расширении действующих предприятий, модернизации производственных процессов.

Настоящий практикум содержит научно обоснованные и проверенные на практике принципы расчета различных инженерных решений по вопросам безопасности труда. Оно также включает в себя достаточное количество справочных данных, необходимых для расчетов.

Основная задача книги — способствовать формированию научной подготовки студента в области производственной безопасности. Она поможет им принять правильные инженерные решения, выполнить дипломный проект по тематике, посвященной вопросам безопасности жизнедеятельности.

Благодаря разработке разделов по безопасности труда курсовых проектов и дипломных работ на основе исходных данных действующих предприятий и производств можно провести их техническую экспертизу на предмет соответствия нормативным требованиям охраны труда при ведении различных технологических процессов и эксплуатации оборудования, а также разработать инженерные решения, необходимые для создания здоровых и безопасных условий труда.

Изучение дисциплины формируется следующими компетенциями:

– владением культурой безопасности и риск-ориентированным мышлением, при котором вопросы безопасности и сохранения окружающей среды рассматриваются в качестве важнейших приоритетов в жизни и деятельности (ОК-7);

– способностью ориентироваться в перспективах развития техники и технологии защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера (ПК-1);

– способностью ориентироваться в основных нормативно-правовых актах в области обеспечения безопасности (ПК-9);

– способностью пропагандировать цели и задачи обеспечения безопасности человека и природной среды в техносфере (ПК-11);

## **Практическое занятие №1**

### **Расчет технических средств защиты от шума**

#### **Введение**

**Шум** – это всякий нежелательный звук.

**Звук** – это упругие колебания, распространяющиеся волнообразно в твердой, жидкой и газообразной среде.

**Звуковое поле** – это область пространства, в которой распространяются звуковые волны. В каждой точке звукового поля давление и скорость частиц воздуха изменяются во времени.

Разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением называется звуковым давлением  $P$  (Па).

При распространении звуковой волны происходит перенос звуковой энергии. Средний поток энергии в какой-либо точке среды в единицу времени, отнесенный к единице поверхности, называется интенсивностью звука  $J$  (Вт/м<sup>2</sup>).

Степень вредности шума зависит от его силы, частоты спектра, продолжительности и регулярности действия.

#### **Производственные шумы классифицируются следующим образом:**

- по характеру спектра – широкополосные и тональные;
- по временным характеристикам – постоянные, непостоянные;
- по длительности – прерывистые, колеблющиеся, импульсные;
- по источникам возникновения – механические, аэродинамические, шумы электрических машин.

Утомление, вызываемое шумом, приводит к возрастанию числа ошибок операторов, способствует возникновению травм.

#### **Методы защиты от шума:**

- уменьшение шума в источнике возникновения;
- звукопоглощение;
- звукоизоляция;
- увеличение расстояния от машин (аппаратов), производящий сильный шум;

- индивидуальные средства защиты. Виды коллективных средств защиты от шума показаны на рисунке 1.

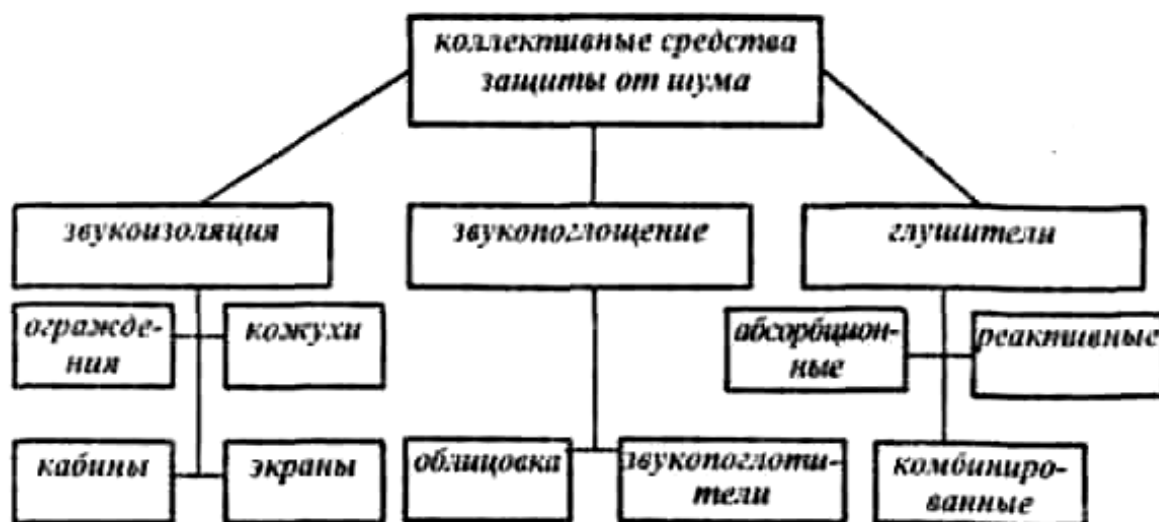


Рисунок 1 – Виды коллективных средств защиты (СКЗ) от шума

Пути проникновения шума (воздушного и структурного) показаны на рисунке 2.

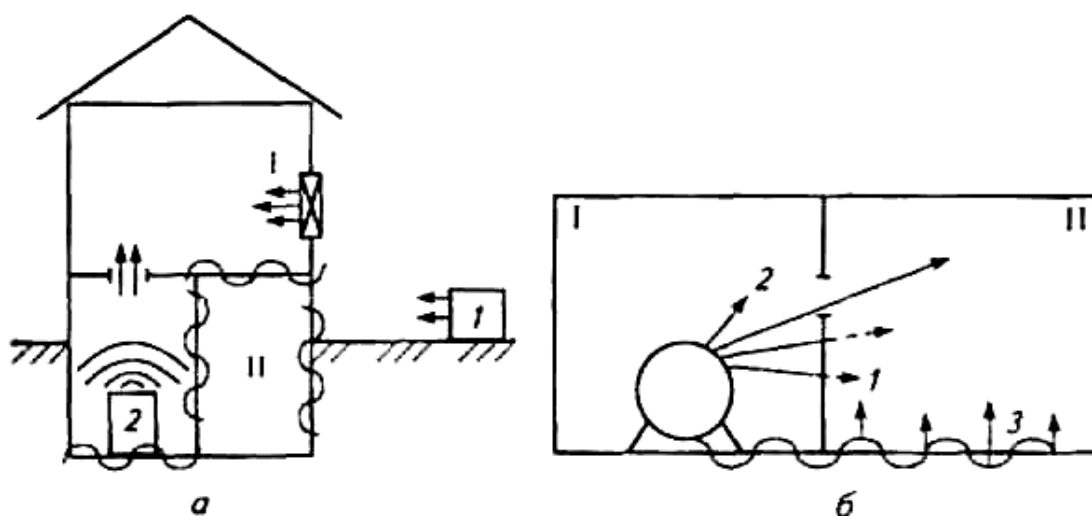


Рисунок 2 – Пути проникновения шумов:

- а: источники шума находятся как снаружи, так и внутри здания (I — воздушный шум, II — структурный шум; 1 — источник шума, 2 — источник вибраций);
- б: шум проникает из шумного в тихое помещение (I — шумное помещение, II — тихое помещение; 1, 2 — звуки, распространяющиеся по воздуху (воздушные звуки или шумы), 3 — энергия упругих колебаний, распространяющаяся по строительным конструкциям и излучаемая в виде шума (структурные или ударные звуки, шумы)



**Цель работы:** изучить методики расчета технических средств защиты от шума. Рассчитать технические средства защиты от шума в соответствии с заданием.

### 1.1 Методики расчета снижения уровня шума конструктивными элементами

1.1.1. Определение суммарного уровня звукового давления, дБ, зная количество источников шума  $n$  и уровня звукового давления каждого из источников  $L_n$

$$L = 10 \lg \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right),$$

где  $L_1, L_2 \dots L_n$  – уровни звукового давления, создаваемого каждым источником шума в исследуемой точке пространства, дБ.

Если источники шума имеют одинаковый уровень звукового давления,  $L_i$ , то суммарный уровень звукового давления, дБ равен

$$L = L_i + 10 \lg n_{ш},$$

где  $n_{ш}$  – число источников шума с одинаковым уровнем звукового давления.

1.1.2. Выбрать метод снижения шума (установка шумных машин и оборудования в отдельных помещениях, звукоизоляция источников шума кожухами или капотами и т.д.)

1.1.3. Определить уровень шума после проведения мероприятий направленных на его снижение.

1.1.4. Уровень шума, дБ, после установки изолирующих стен приблизительно можно определить по следующим эмпирическим формулам:

- при массе  $1 \text{ м}^2$  стены менее 200 кг

$$L_{ИЗ_1} = L - (32 \lg Q + 13)$$

- при массе  $1 \text{ м}^2$  стены более 200 кг

$$L_{ИЗ_2} = L - (23 \lg Q - 9),$$

где  $L$  – фактический уровень шума в помещении, дБ;

$Q$  – масса 1 м<sup>2</sup> звукоизолирующей стены, кг/м<sup>2</sup>

1.1.5. Уровни звукового давления машин, расположенных в боксах или укрытиях, с учетом звукопоглощения стенами и потолком, дБ,

$$L_{ИЗ} = L - 10 \lg B + 6 + 10 \lg \left(1 + \frac{B}{8r^2}\right),$$

где  $B$  – постоянная помещения характеризующая его звукопоглощающие свойства;

$r$  – расстояние от центра источника шума, до внутренней поверхности ограждающей конструкции (бокса, укрытия) м.

$$B = \sum \frac{S\alpha_i}{1 - \alpha_i},$$

где  $S_i$  и  $\alpha_i$  – соответственно площадь и коэффициент звукопоглощения ограждающих конструкций, помещений, боксов и укрытий (значения определяют по таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов поглощения материалов  $\alpha$

Материалы и конструкции	Коэффициент звукопоглощения $\alpha$ при среднегеометрических частотах (Гц)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ковры, ковровые дорожки	0,12	0,14	0,23	0,32	0,38	0,42	0,43
Бетон	0,011	0,012	0,016	0,019	0,023	0,035	-
Фанера толщиной 6 мм, прикрепленная на бруски 50×50 см	0,20	0,28	0,26	0,09	0,12	0,11	-
Кирпичная стена	0,024	0,025	0,031	0,042	0,049	0,07	-
Маты ДТМ1 – 50П	0,33	0,68	0,95	0,88	0,96	0,80	0,71
Строительный войлок толщиной 25 мм	0,15	0,22	0,54	0,63	0,57	0,52	-
Войлок толщиной 12,5 мм	0,05	0,08	0,17	0,48	0,52	0,51	-
Перфорированные панели размером 25 × 25 мм и толщиной 3 мм с асбестовой ватой толщиной 6 мм внутри	0,52	0,54	0,54	0,50	0,41	0,33	0,32
Слой ваты толщиной 100 мм	0,43	0,53	0,59	0,69	0,70	-	-
Минеральный войлок толщиной 40 мм	0,15	0,36	0,60	0,78	0,88	-	-

1.1.6. Уровень шума, дБ, вне пределов помещения при устройстве стен из двойных перегородок с расстоянием между ними 80 ... 100 мм и разделенных прослойкой

$$L_{из} = L - [26 \lg(Q_1 + Q) - 6],$$

где  $Q_1, Q_2$  – масса 1 м<sup>2</sup> соответственно первого и второго ограждений, кг/м<sup>2</sup>.

1.1.7. Ослабление шума кожухом, дБ, все элементы которого приблизительно одинаково звукопроводны,

$$\Delta L = u + 10 \lg \alpha,$$

где  $u$  – собственная звукоизоляция стенок кожуха, дБ;

$\alpha$  – средний коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей кожуха (таблица 2).

Таблица 2 – Допустимые уровни звукового давления

Уровень звукового давления, дБ, в октановых полосах со средне геометрическими частотами, Гц								Уровень звука и эквивалентные уровни звука, дБ (А)
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочее место в помещениях управления и рабочих комнатах								
79	70	68	58	55	52	50	49	60
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий								
99	92	86	83	80	79	76	74	85
Рабочие места водителя и обслуживающего персонала тракторов, самоходных прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных, землеройно-транспортных, мелиоративных и других аналогичных видов машин и грузового транспорта								
99	92	86	83	80	78	76	74	85

Собственная звукоизоляция стенок кожуха, дБ

$$u = 13,5 \lg P + 13,$$

где  $P$  – масса, 1 м<sup>2</sup> кожуха, кг/м<sup>2</sup>

1.1.8. Зная уровень звукового давления, получаемый после проведения мероприятий, сравнивают его со значениями, рекомендуемыми ГОСТом (табл. 10). В случае превышения нормативных величин уровней звукового давления выбирают звукоизолирующие материалы с большим коэффициентом звукопоглощения или меняют метод снижения уровня шума.

## 1.2 Расчет акустических экранов

Акустические экраны устанавливают в случае невозможности применения глушителей других типов. При этом следует учитывать, что на низких частотах шума экран почти не действует, так как низкочастотный шум за счет эффекта дифракции огибает экраны (рис. 2).

Эффективность экрана  $\Delta L_{\text{Э}}$  может быть определена по коэффициенту  $k$ :

$$k = 0,05 \sqrt{f} \sqrt[4]{\frac{h^2 \left(\frac{l}{b}\right)}{1 + 4\left(\frac{a}{b}\right)^2}}$$

где  $f$  – частота звука, Гц;

$h$  – высота экрана, м;

$l$  – длина экрана, м;

$a$  – расстояние от экрана до источника шума, м;

$b$  – расстояние от экрана до рабочего места, м.

Затем в зависимости от найденного значения  $k$  определяют эффективность экрана  $\Delta L_{\text{Э}}$ :

$k$	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5	7	10
$\Delta L_{\text{Э}}$ , дБ	5	8	11	13,5	15	18	20	22	25	30

Следует помнить, что экраны применяют в случае превышения уровня шума на рабочих местах сверх допустимых значений не менее чем на 10 дБ и не более чем на 20 дБ.

## 1.3 Расчет звукопоглощающих облицовок

Облицовка внутренних поверхностей производственных помещений звукопоглощающими материалами обеспечивает значительное снижение шума.

Наибольший акустический эффект от звукопоглощения наблюдается в зоне отраженного звука. В точках помещения, где преобладает прямой звук, эффективность звукопоглощения существенно снижается.

Применение звукопоглощающих облицовок целесообразно, когда в расчетных точках в зоне отраженного звука требуется снизить уровень звука не более чем на 10 ... 12 дБ, а в расчетных точках на рабочих местах – на 4 ... 5 дБ.

Звукопоглощающие облицовки размещают на потолке и верхних частях стен. Максимальное звукопоглощение достигается при облицовке не менее 60 % общей площади ограждающих поверхностей помещения. Для расчета звукопоглощения необходимо знать акустические характеристики помещения:

$V$  – постоянную помещения, м<sup>3</sup>;

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

$\alpha$  – средний коэффициент звукопоглощения.

Постоянная акустически необработанного помещения, м<sup>2</sup>,

$$B = B_{1000} \mu$$

где  $B_{1000}$  – постоянная помещения, м<sup>2</sup>, на среднегеометрической частоте 1000 Гц, определяемая в зависимости от объема помещения  $V$  из следующих соотношений:

Помещение	$B_{1000}$ м
С небольшой численностью людей	$V/20$
С жесткой мебелью и большой численностью людей или с небольшой численностью людей и мягкой мебелью (лаборатории, деревообрабатывающие и ткацкие цехи, кабинеты и т. п.)	$V/10$
С большой численностью людей и мягкой мебелью (залы конструкторских бюро, учебные аудитории, комнаты управления, жилые помещения и т. п.)	$V/16$
Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	$V/1,5$

Частотный множитель  $\mu$  определяют по таблице 3.

Таблица 3 – Значения частотного множителя  $\mu$  для помещений различных объемов

Объем помещения, м <sup>2</sup>	Частотный множитель $\mu$ на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Менее 200	0,80	0,75	0,70	0,80	1	1,4	1,8	2,5
200 ... 1000	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
Более 1000	0,50	0,50	0,55	0,70	1	1,6	3,0	6,0

По найденной постоянной помещения  $B$  для каждой октавной полосы вычисляют эквивалентную площадь звукопоглощения, м<sup>2</sup>,

$$A = \frac{BS}{B + S},$$

где  $S$  – общая площадь ограждающих поверхностей помещения, м<sup>2</sup>.

Зону отраженного звука определяют по значению предельного радиуса  $r_{ПР}$ , т. е. расстояния от источника шума, на котором уровень звукового давления отраженного звука равен уровню звукового давления прямого звука, излучаемого данным источником. Когда в помещении  $n$  одинаковых источников шума,

$$r_{ПР} = 0,2 \sqrt{\frac{B_{8000}}{n}}$$

где  $B_{8000}$  – постоянная помещения на частоте 8000 Гц;

$$B_{8000} = B_{1000} \mu_{8000}$$

Максимальное снижение уровня звукового давления  $\Delta L$ , дБ, в каждой октавной полосе при использовании звукопоглощающих покрытий в расчетной точке, расположенной в зоне отраженного звука,

$$\Delta L = 10 \lg \left( \frac{B'}{B} \right),$$

где  $B'$  – постоянная помещения после установки в нем звукопоглощающих конструкций, м.

## Постоянная акустически обработанного помещения

$$B' = \frac{A_1 + \Delta A}{1 + \alpha_1},$$

где  $A_1 = \alpha(S - S_0)$  – эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  – средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки;  $\alpha = B/(B + S)$ ;

$\Delta A$  – площадь суммарного добавочного поглощения, вносимого конструкцией звукопоглощающей облицовки или штучными поглотителями,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha_1$  – средний коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения;  $\alpha_1 = (A_1 + \Delta A)/S$ .

Тогда

$$\Delta A = \alpha_0 S_0 + A_{шт} n$$

где  $\alpha_0$  – коэффициент звукопоглощения конструкции облицовки (см. табл. 1); для минераловатных акустических плит марки ПА/С размером  $500 \times 500$  мм коэффициент звукопоглощения, в октавных полосах равен:

Среднегеометрические частоты, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Значения $\alpha_0$	0,02	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,70

$S_0$  – площадь облицованных поверхностей,  $\text{м}^2$ ;

$A_{шт}$  – площадь звукопоглощения одного штучного звукопоглотителя,  $\text{м}^2$ ;

$n$  – число штучных поглотителей.

## **Практическое занятие №2**

### **Расчет технических средств защиты от вибраций**

#### **Введение**

**Вибрация** – это механические колебания в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменных физических полей с относительно небольшой амплитудой.

Производственная вибрация, характеризующаяся значительной амплитудой и продолжительностью действия, вызывает у работающих раздражительность, бессонницу, головную боль, ноющие боли в руках людей, имеющих дело с вибрирующим инструментом.

#### **Вибрацию классифицируют по следующим признакам:**

- по способу воздействия на человека – общая и локальная;
- по источнику возникновения – транспортная (при движении машин), транспортно-технологическая (при совмещении движения с технологическим процессом, например при косьбе или обмолоте самоходным комбайном, рытье траншей экскаватором и т. п.) и технологическая (при работе стационарных машин, например насосных агрегатов);
- по частоте колебаний – низкочастотная (менее 22,6 Гц), среднечастотная (22,6...90 Гц) и высокочастотная (более 90 Гц);
- по характеру спектра – узко- и широкополосная;
- по времени действия – постоянная и непостоянная; последнюю, в свою очередь, делят на колеблющуюся во времени, прерывистую и импульсную.

#### **Методы снижения вибраций.**

Мероприятия по борьбе с вибрацией разделяют на: организационные и технические:

К организационным мероприятиям относят:

- исключение из технологической схемы виброакустически активного оборудования;
- использование оборудования с минимальными динамическими нагрузками;



- правильный монтаж, проведение профилактических ремонтов;
- применение средств индивидуальной защиты;
- режим труда и отдыха.

**К техническим мероприятиям относят (рисунки 3,4):**

- борьбу в источнике – воздействие на источник возбуждения:
- замену кулачковых и кривошипных механизмов на равномерно вращающиеся, применение гидропривода;
- заменаковки и штамповки прессованием, клепки электрической сваркой и так далее.
- устранение резонансных режимов – отстройка собственных частот, узлов и деталей от частоты вынуждающей силы достигается выбором режима работы оборудования, изменением его массы и жесткости;
- вибродемфирование – превращение энергии механических колебаний в другие виды энергии, например, нанесение слоя упруговязкого материалов, обладающих большими потерями на внутренне трение на основе пластмасс и смол);
- виброгашение – уменьшение уровня вибраций путем установки агрегатов на самостоятельные фундаменты;
- виброизоляция – введение в колебательную систему дополнительной упругой связи – виброизоляторов.

**Виброизоляторы** бывают: пружинные, резиновые, пневматические и гидравлические.

Виброизоляция бывает активной и пассивной.

**Активная** виброизоляция уменьшает передачу вибрации от источника на основание (борьба в источнике ).

**Пассивная** виброизоляция защищает рабочие места от вибраций (борьба по пути распространения).

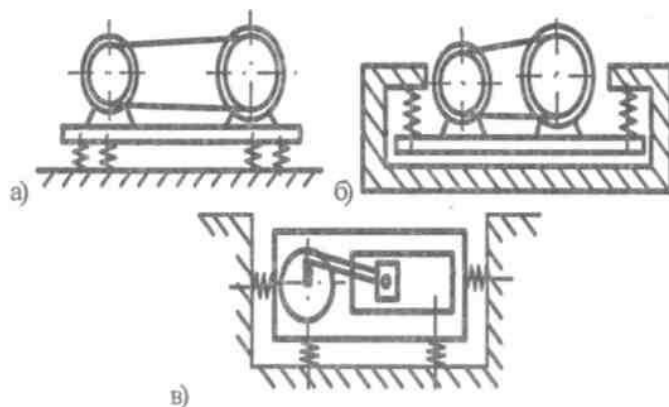


Рисунок 3 – Схема виброизоляции виброактивного оборудования:

- а) опорный вариант; б) подвесной вариант;  
в) виброизоляция вертикальных и горизонтальных колебаний

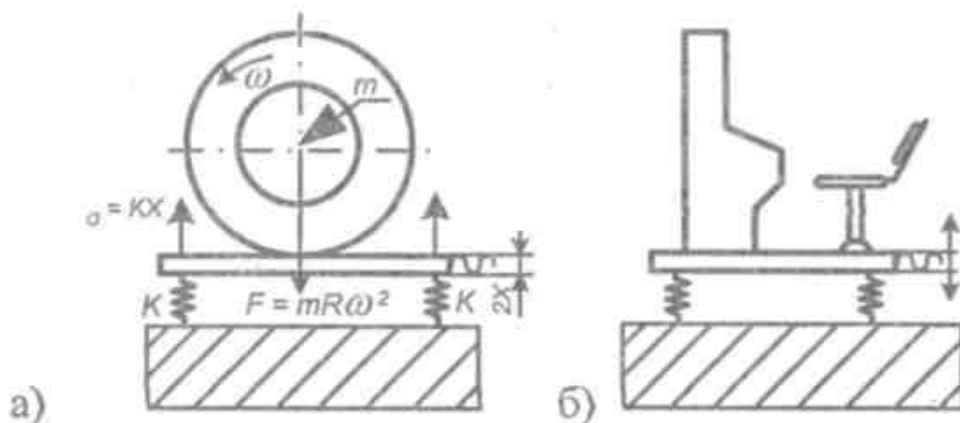


Рисунок 4 – Схема виброизоляции источника вибрации (а) и рабочего места (б)

## 2.1 Расчет виброизолирующих оснований

**Виброизоляторы** применяют для уменьшения вибраций, передающихся на несущую конструкцию. Для агрегатов, имеющих частоту вращения менее  $1800 \text{ мин}^{-1}$ , рекомендуется применять пружинные виброизоляторы; при частоте вращения агрегатов более  $1800 \text{ мин}^{-1}$  – резиновые.

Пружинные виброизоляторы долговечны и надежны в работе, эффективны при виброизоляции низких частот, но недостаточно снижают передачу вибраций более высоких частот ( $16000 \dots 20000 \text{ Гц}$ ), обусловленную внутренними резонансами пружинных элементов. Для устранения явления передачи высокочастотных вибраций рекомендуется применять резиновые про-

кладки толщиной 10 ... 20 мм, располагая их между пружиной и несущей конструкцией.

Виброизоляторы размещают в четырех точках по углам прямоугольника. При необходимости устанавливают дополнительные виброизоляторы симметрично центра тяжести установки. Дополнительные виброизоляторы рекомендуется размещать в центральных точках прямых, соединяющих два угловых виброизолятора. Допускается применение кустовых виброизоляторов (от двух до шести в кусте).

**Цель работы:** изучить методики расчета технических средств защиты от вибраций. Рассчитать технические средства защиты от вибраций в соответствии с заданием.

### 2.1.1 Расчет пружинных виброизоляторов

2.1.1.1. Определяют расчетную частоту вращения  $n_p$ , мин<sup>-1</sup>.

2.1.1.2. Определяют требуемую эффективность виброизоляции  $\Delta L_T$ , см. далее.

Вид оборудования	$\Delta L_T$ , дБ
Поршневые компрессоры мощностью, кВт:	
до 15	17
от 20 до 60	20
от 75 до 150	26
Центробежные насосы	26
Автономные кондиционеры	20
Вентиляторы с частотой вращения, мин <sup>-1</sup>	
более 800	26
500 ... 800	20 ... 26
350 ... 500	17... 20
200 ... 350	11 ... 17

2.1.1.3. Определяют расчетную частоту возбуждающей силы, Гц,

$$f_B = \frac{n_y}{60}$$

где  $n_y$  – частота вращения частей установки, мин<sup>-1</sup>.

Если в работающей установке существуют части, вращающиеся с различной частотой, то в качестве расчетной принимают наименьшую из  $n_y$ .

2.1.1.4. Определяют отношение  $C$  расчетной частоты вертикальных

колебаний силы  $f_B$  к предельно допустимой частоте собственных вертикальных колебаний  $f_0$  виброизолированной установки в зависимости от требуемой эффективности виброизоляции  $\Delta L$ , см. далее.

$\Delta L$ , дБ	$C = f_B / f_0$
5	1,65
7,5	1,8
10	2
15	2,6
20	3,3
25	4,2
30	5,4
35	7,0

2.1.1.5. По найденному значению параметра  $C$  определяют предельно допустимую частоту, Гц,

$$f_0 = \frac{f_B}{C}$$

2.1.1.6. Определяют требуемую общую массу виброизолированной установки, кг,

$$m_T \geq \frac{2,5 \varepsilon m_B}{A_D}$$

где  $\varepsilon$  – эксцентриситет вращающихся частей, мм;

$m_B$  – масса вращающихся с частотой  $n_y$  частей установки, кг;

$A_D$  – максимально допустимая амплитуда смещения центра тяжести установки, мм.

Если величины  $\varepsilon$  и  $A_D$  неизвестны, для вентиляционной установки можно приближенно принять  $\varepsilon_d = 0,2 \dots 0,4$  мм при динамической балансировке и

$\varepsilon_c = 1 \dots 1,5$  мм при статической балансировке.

Максимально допустимая амплитуда смещения центра тяжести установки  $A_D$ :

Частота вращения $n_y$ , мин <sup>-1</sup>	300	400	500	600	700	900	1200	1500	3000
$A_D$ , мм	0,2	0,18	0,16	0,145	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04

Если общая масса установки (например, вентилятора с электродвигателем и рамой) меньше требуемой  $m_T$ , то необходимо увеличить ее до требуемой частичным или полным заполнением внутреннего объема рамы железобетоном или монтировать установку на общей железобетонной плите.

2.1.1.7. Определяют общую массу установки, кг,

$$m_0 \geq m_T = m_y + m_p$$

где  $m_y$  – масса установки, кг;

$m_p$  – масса рамы, кг.

2.1.1.8. Определяют статическую нагрузку на одну пружину, Н,

$$P_C = \frac{9,81m_p}{n_B x},$$

где  $n_B$  – число виброизоляторов;

$x$  – число пружин в одном виброisolляторе.

2.1.1.9. Находят расчетную максимальную нагрузку на одну пружину, Н,

$$P_{P_{\max}} = P_C + \frac{1,5 \times 4\pi^2 f_B^2 A_D P_C}{9810} = P_C + 0,006 f_B^2 A_D P_C$$

2.1.1.10. Определяют требуемую суммарную жесткость виброизоляторов в вертикальном направлении, Н/м,

$$\sum K_B = 9,81 \times 4\pi^2 f_0^2 m_0 = 387,3 f_0^2 m_0$$

2.1.1.11. Рассчитывают требуемую жесткость, Н/м, одной пружины в продольном направлении

$$K_{TP} = \frac{\sum K_B}{n_B x}$$

2.1.1.12. Определяют тип виброизоляторов с соблюдением условий:

$$P_{T_{\max}} \geq P_{P_{\max}}; \quad K_T \leq K_{TP},$$

где  $P_{T_{\max}}$  – максимальная рабочая нагрузка на пружину, Н (табл. 4);

$K_T$  – жесткость пружин в продольном направлении, Н/м (табл.4).

Таблица 4 – Параметры типовых значений опорных пружин

Параметр	Марка пружины							
	до-38	до-39	до-40	до-41	до-42	до-43	до-44	до-45
Максимальная рабочая нагрузка на пружину $P_{Tmax}$ , Н	120	220	340	550	960	1680	2430	3800
Собственная частота вертикальных колебаний при максимальной рабочей нагрузке, Гц	3	2,7	2,5	2,4	2,1	2,1	1,9	1,8
Жесткость пружины в продольном направлении $K_T$ , Н/м	0,46	0,62	0,83	1,26	1,68	3,0	3,64	4,5
Диаметр проволоки, мм	3	4	5	6	8	10	12	15
Диаметр пружины, мм	30	40	50	54	72	80	96	120
Высота пружины в ненагруженном состоянии, мм	65	84	100	114	152	171	202	245
Число рабочих витков	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Полная высота пружины в ненагруженном состоянии, мм	68	88	107	123	164	186	220	275
Шаг ненагруженной пружины, мм	10	13	17	18	24	27	32	40

## 2.2 Расчет резиновых виброизоляторов

2.2.1. Определяют площадь поперечного сечения всех виброизоляторов,  $m^2$ ,

$$F_B = \frac{9,81m_0}{\sigma},$$

где  $m_0$  – общая масса установки, кг;

$\sigma$  – расчетное статическое напряжение в резине; для резины с твердостью до  $4 \times 10^{-2}$  Па принимается в пределах  $(1 \dots 3)10^{-3}$  Па, для резины с большей твердостью –  $(3 \dots 5)10^{-3}$  Па.

2.2.2. Находят рабочую высоту каждого виброизолятора, м,

$$H_P = \frac{EF_B}{\sum K_B},$$

где  $E$  – динамический модуль упругости резины, Па, значение которого

можно определить по приведенным далее данным;

Твердость резины по Шору	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Динамический модуль упругости $E \times 10^5$ Па.	15	20	25	40	50	60	71	82,5	100

$\Sigma K_B$  – требуемая суммарная жесткость виброизоляторов (см. п. 2.1.10).

2.2.3. Определяют площадь поперечного сечения одного виброизолятора,  $m^2$ ,

$$F_1 = \frac{F_B}{n_B},$$

где  $n_B$  – число виброизоляторов.

2.2.4. Определяют поперечный размер виброизолятора:

- для призматического столбика сторона квадрата, м,

$$B = \sqrt{F_1}$$

- для цилиндрического столбика диаметр, м,

$$D = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi}}$$

2.2.5. Определяют устойчивость виброизоляции. Для устойчивости необходимо, чтобы  $1,5H_p \leq B \leq 8H_p$  или  $1,5H_p \leq D \leq 8H_p$ . Если это условие не выполняется, необходимо взять резину другой твердости или другое число прокладок или принять пружинные виброизоляторы.

2.2.6. Определяют полную высоту виброизолятора, м,

$$H = H_p + \frac{1}{8}B \quad \text{или} \quad H = H_p + \frac{1}{8}D$$

2.2.7. После уточнения размеров виброизоляторов следует проверить обеспечиваемую эффективность виброизоляции, дБ:

$$\Delta L = 20 \lg \left( \frac{f_B^2}{f_O^2} - 1 \right)$$

где  $f_B = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Sigma K_B}{m_0}}$  – частота возбуждающей силы, Гц;

$\Sigma K_B = \frac{EF_B}{H_p}$  – общая жесткость всех виброизоляторов, Н/м;

$E$  – динамический модуль упругости резины, Па;

$H_p$  – рабочая высота виброизоляторов, м;

$m_0$  – масса виброизолирующей установки, кг.

**Полученное значение  $\Delta L$  не должно быть меньше выбранного.**



## Практическое занятие №3

### Расчет опасных зон

#### Введение

**Опасной** называют **зону**, в которой постоянно действуют или периодически возникают факторы, создающие угрозу для жизни и здоровья человека.

У машин такие зоны существуют вблизи движущихся или вращающихся деталей, вокруг открытых токоведущих частей и т. д. (рис.5).

Различают постоянные и переменные опасные зоны.

**Постоянные зоны** – зоны, размещающиеся у подвижных частей оборудования при наличии определенной закономерности их перемещения во время работы. К таким зонам относят пространства между матрицей и пуансоном прессы, сходящимися венцами зубчатых колес, набегающей ветвью приводного ремня и шкивом и т. д.

**Переменные зоны** существуют вокруг источников опасности, которые с течением времени изменяют свое направление в соответствии с создавшимися условиями и режимами выполнения операций трудового процесса, а также свойствами материалов.

**К переменным** относят также зоны, возникающие в процессе погрузочно-разгрузочных работ при различных положениях стрелы, тележки или ходовой платформы крана, заточке инструментов на наждачном круге, эксплуатации мобильных сельскохозяйственных машин.

Границы постоянных опасных зон можно легко определить, так как они не меняются в процессе выполнения работ, а границы переменных зон не имеют четких очертаний в пространстве. Поэтому для создания безопасных условий труда очень важно найти максимальное расстояние, в пределах которого возможно воздействие на человека опасных производственных факторов эксплуатируемых машин и оборудования.

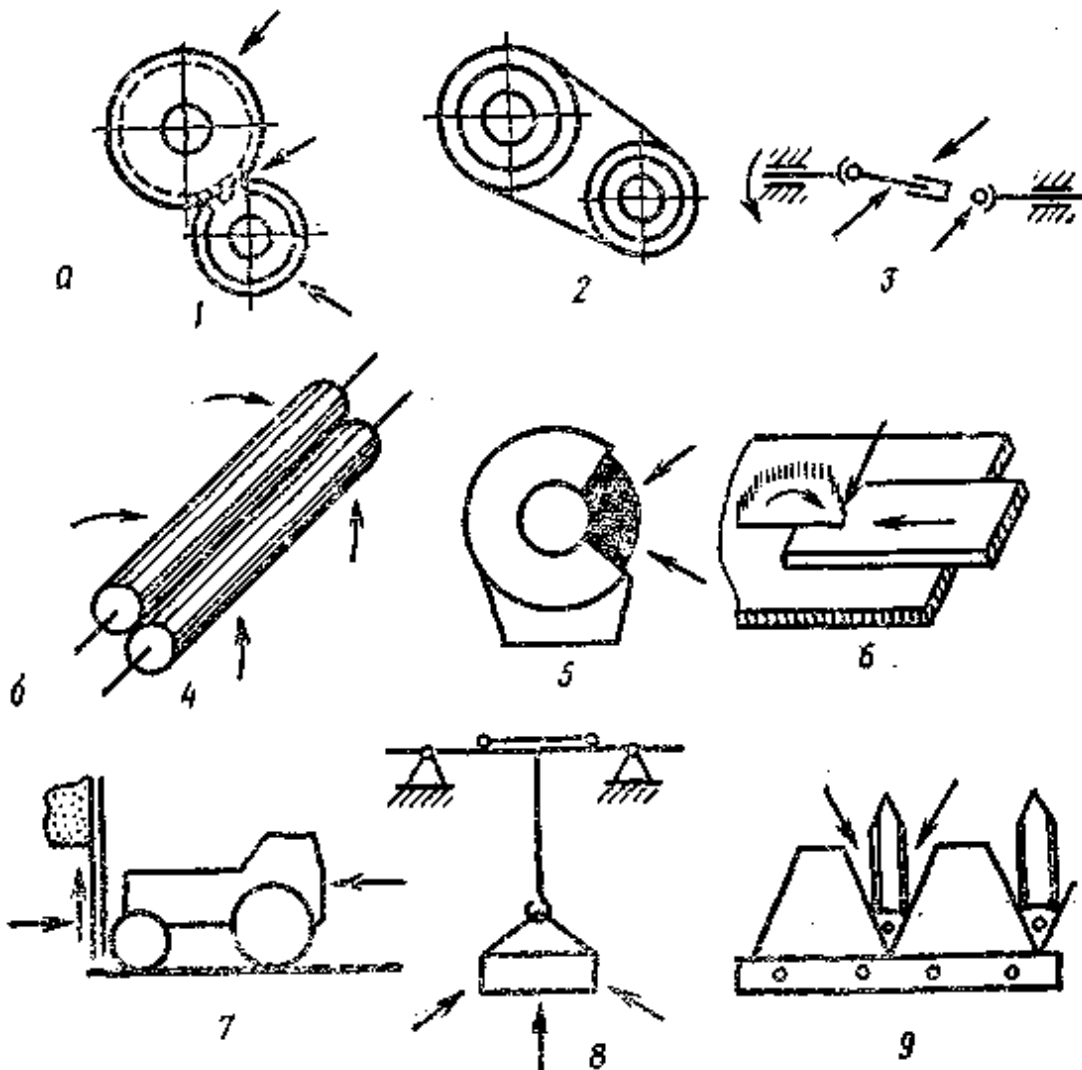


Рисунок 5 – Опасные зоны в:

1 – шестеренчатой передаче; 2 – ременной передаче (цепной);  
 3 – карданной передаче; 4 – вращающихся вальцах; 5 – наждачном станке;  
 6 – дисковой пиле; 7 – тракторе со стогометателем; 8 – грузоподъемном  
 механизме; 9 – режущем аппарате; *a* – опасные зоны, постоянные в  
 пространстве; *b* – опасные зоны, переменные в пространстве;

**Цель работы:** изучить методику расчета опасных зон. Рассчитать размеры опасных зон в соответствии с заданием, нарисовать в плане опасную зону.

### 3.1 Расчет опасной зоны при работе на высоте

В процессе выполнения строительно-монтажных работ на высоте в местах работы грузоподъемных кранов образуются зоны, пребывание людей в которых становится опасным.

Так, при работах, выполняемых на высоте, опасной зоной считают

участок, расположенный под рабочей площадкой, границы которого определяются горизонтальной проекцией площади  $S$ , увеличенной на безопасное расстояние, м (рис. 6):

$$L_{БЕЗ} = 0,3H ,$$

где  $H$  – высота, на которой производится работа, м.

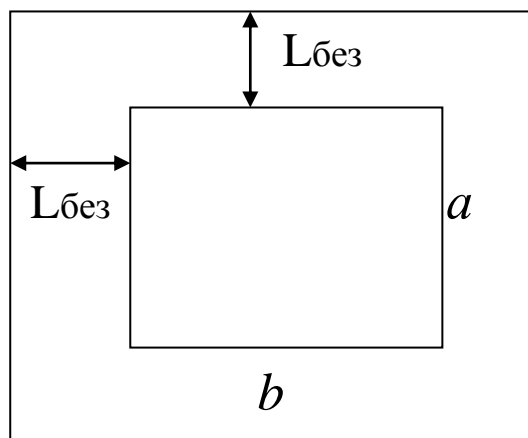


Рисунок 6 – Схема определения опасной зоны

Максимальное расстояние от строящегося объекта в пределах которого могут возникать опасности, м,

$$l = \frac{S_c}{9,81m} (20h + 0,235h_{II}^2) + 0,45V \sqrt{h_{II}} ,$$

где  $S_c$  – эффективная площадь поперечного сечения падающего предмета,  $m^2$  (определяют как среднее арифметическое значение площадей наибольшего и наименьшего сечений);

9,81 – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;

$m$  – масса падающего предмета, кг;

$v$  – горизонтальная составляющая скорости падения предмета.

### 3.2 Расчет опасных зон при работе грузоподъемных машин

При работе грузоподъемной машины (ГПМ) (электротельфера, кран-балки) расстояние возможного отлета груза при обрыве одной из строп, м. (рис. 7),

$$L_{оп} = 2\sqrt{H[l_c(1 - \cos \varphi) + a]}$$

где  $H$  – высота подъема груза, м;

$k$  – длина ветви стропа, м;

$\varphi$  – угол между стропами и вертикалью, град;

$a$  – расстояние от центра тяжести груза до его края, м.

Для расчета стреловых кранов дополнительно учитывают вылет стрелы. Тогда

$$L_{оп} = l_B + 2\sqrt{H[l_C(1 - \cos \varphi) + a]}$$

где  $l_B$  – вылет стрелы крана, м.

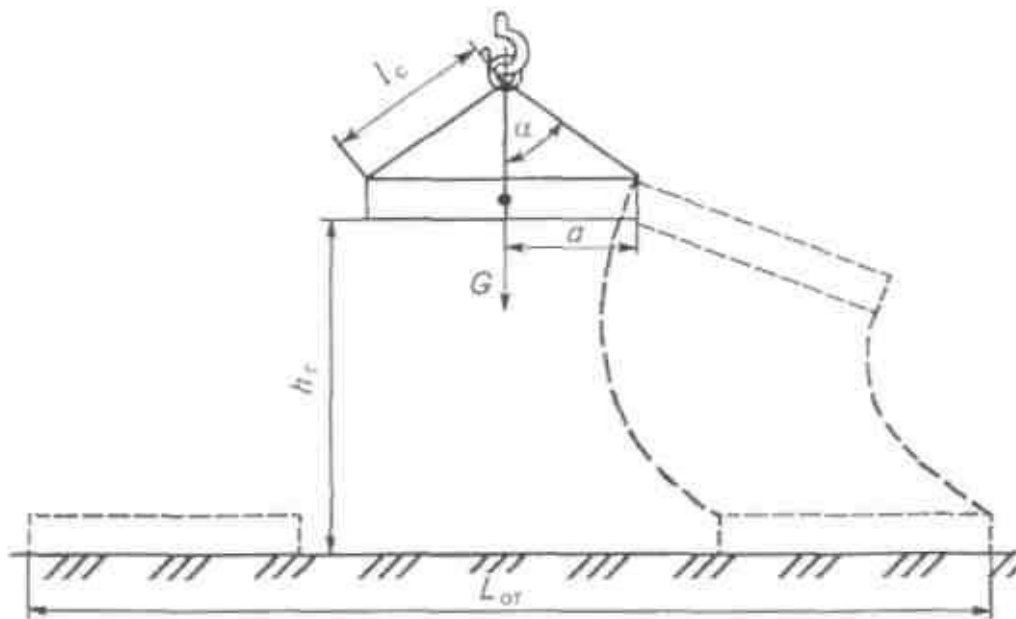


Рисунок 7 – Схема определения границ опасной зоны при обрыве стропа ГПМ

$G$  – сила тяжести.

## Практическое занятие №4

### Расчет ограждений

#### Введение

**Ограждения** представляют собой физическую преграду между человеком и опасным или вредным производственным фактором.

В зависимости от назначения и условий работы ограждения изготавливают из различных материалов. Они могут одновременно выполнять роль паро-, газо- и пылеприемников, исключать воздействие тепловых и электромагнитных излучений на работающих, а в отдельных случаях снижать шум и т. д., такие ограждения называют *комбинированными*.

Ограждения с отверстиями должны удовлетворять следующим условиям:

$$\text{при } x > 60, \quad d < 0,1 x;$$

$$\text{при } x < 60, \quad d < 6$$

где  $x$  – расстояние от частей оборудования, представляющих опасность для работающих, до ограждения, мм;

$d$  – диаметр отверстия, мм.

В ограждениях с отверстиями в виде многоугольников вписанные в них окружности должны удовлетворять тем же условиям, а любые диагонали многоугольников не должны превышать удвоенного диаметра окружности.

При выполнении некоторых работ используют автоматические ограждения. Они закрывают рабочую зону при работе на холостом ходу и во время обработки материала, открывая ее только на период загрузки заготовок и выгрузки готового изделия (рисунок 8). Если применяют неавтоматизированное ограждение с ручной подачей материала, то момент силы, прикладываемый к заготовке для преодоления сопротивления подвижных частей ограждения, не должен превышать 30 Нм.

Ограждения должны иметь определенный запас прочности, гарантирующий безопасность рабочего и находящегося рядом обслуживающего персонала.

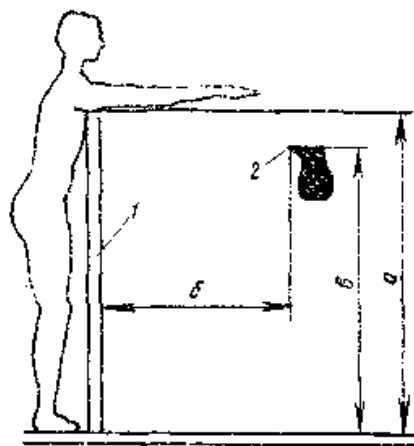


Рисунок 8 – Выбор высоты ограждений

**Цель работы:** изучить методику расчета ограждений. Рассчитать ограждения в соответствии с заданием.

При расчете сплошных ограждений из металла по действующей ударной нагрузке определяют толщину стенки ограждения.

Для абразивного круга или вращающейся детали в случае их разрыва на две части ударная нагрузка на ограждение,  $H$ ,

Ограждения помимо ограничительных функций должны гарантировать безопасность рабочего и обслуживающего персонала в случае отлета из рабочей зоны разрушенных частей инструмента, сорвавшихся заготовок, деталей, элементов крепления.

При расчете сплошных ограждений из металла по действующей ударной нагрузке определяют толщину стенки ограждения.

Для абразивного круга или вращающейся детали в случае их разрыва на две части ударная нагрузка на ограждения,  $H$ ,

$$P_m = \frac{m_k V^2}{2R_0}$$

где  $m_k$  – масса круга или детали, кг;

$V$  – окружная скорость вращения, м/с;

$R_0$  – радиус центра тяжести половины абразивного круга или детали, м.

Радиус центра тяжести, м,

$$R_0 = \frac{4(R^3 - r^3)}{3\pi(R^2 - r^2)}$$

где  $R$  – радиус внешней окружности круга или детали, м;

$r$  – радиус центрального отверстия круга или детали, м.

Ударная сила (центробежная), которой обладает деталь при освобождении зажимного устройства фрезерного станка, а также сила удара разорвавшегося ремня, цепи или части сломанного инструмента, Н,

$$P = \frac{mV^2}{r_1}$$

где  $m$  – масса детали, части, кг;

$V$  – скорость движения детали, части, м/с;

$r_1$  – радиус кривизны траектории отрыва детали, части, м.

Определяют толщину стенки ограждения по приведенной далее таблице 5.

Таблица 5 – Определение толщины стенки от величины ударной нагрузки

Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм	Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм
4,91	1	73,5	10
8,33	2	80,36	11
14,6	3	96,04	12
17,15	4	102,9	13
25,67	5	115,64	14
31,16	6	139,16	15
39,69	7	159,74	16
47,04	8	188,16	17
61,74	9	205,8	18

Сплошные ограждения, толщина стенок которых подсчитана указанным методом, могут быть заменены отдельными кружками или сеткой после соответствующего перерасчета конструкции ограждения в зависимости от характера нагрузки (растяжение, изгиб, срез).

Для ограждения станков, расколов и элементов конструкций расчетное усилие, развиваемое животным, Н,

$$F = 40 M, \text{ где } M \text{ – масса животного, кг.}$$

## Практическое занятие №5

### Расчет предохранительных муфт

#### Введение

**Муфты** предназначены для продольного соединения вращающихся валов и передачи вращающего момента. При проектировании приводных установок необходимо строго соблюдать соосность соединяемых валов.

Если соединяемые валы хорошо сцентрированы и в процессе работы не ожидаются деформации, то можно применять **глухие** муфты.

Однако при монтаже и эксплуатации приводов сельскохозяйственных машин почти всегда наблюдаются большие или меньшие нарушения идеального сопряжения соединяемых валов: осевой разбег; радиальное смещение, или расцентровка; угловое смещение, или излом. Могут быть также комбинации перечисленных выше нарушений. Причины нарушений соосности валов – низкая точность изготовления и монтажа, а также недостаточная жесткость рамных конструкций сельскохозяйственных машин. Для устранения вредных последствий таких смещений выбирают компенсирующие муфты – жесткие или упругие.

Для защиты узлов привода от воздействия динамических нагрузок в кинематической схеме предусматривают муфты с упругими элементами.

При необходимости передачи вращающего момента между валами, оси которых имеют большой угол излома  $\alpha = 15...25^\circ$ , применяют карданные шарниры.

Для ограничения величины передаваемого момента служат предохранительные муфты.

Для передачи вращающего момента только в одном направлении используют обгонные муфты.

При необходимости частого включения и выключения привода при работающем двигателе применяют сцепные муфты.

В сложных условиях эксплуатации приводов эффективны комбинированные муфты.



При проектировании приводов сельскохозяйственных машин редко возникает необходимость разрабатывать конструкции муфт того или иного типа, так как их конструкции и основные параметры определены нормами и стандартами. Задача в большинстве случаев сводится к подбору муфты и проверочному расчету ее основных элементов.

Отдельные виды муфт показаны на рисунке 9,10.

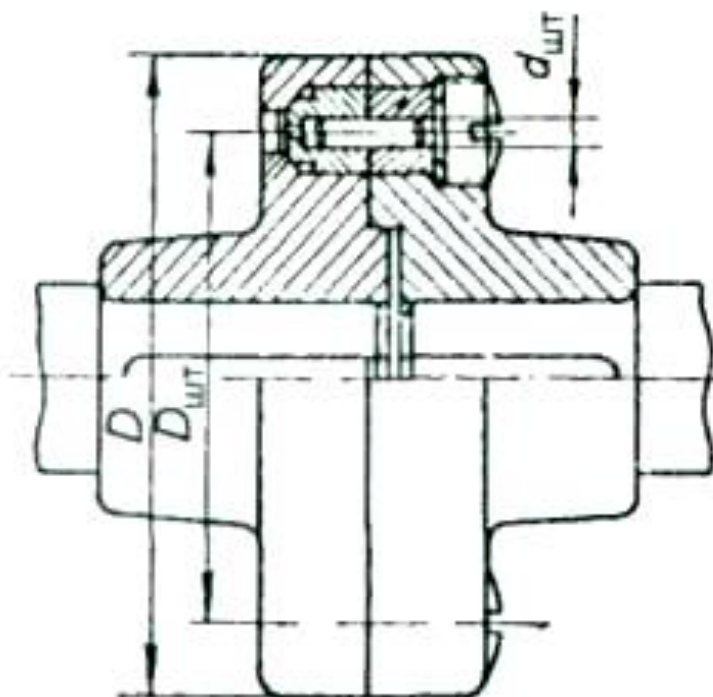


Рисунок 9 – Устройство предохранительной муфты со срезным штифтом

### 5.1 Муфта со срезанным штифтом

Выполняют эскиз муфты и обозначают размеры.

Рассчитывают диаметр штифта (штифт изготавливают обычно из стали 45 или 65Г), мм,

$$d_{шт} = \sqrt{\frac{4M_p}{\pi R \tau_{в.ср}}}$$

где  $M_p$  – расчетный момент, Нм;

$R$  – расстояние между осью передающих валов и осью штифта, м;

$\tau_{ср}$  – предел прочности на срез, МПа; для стали 45 и 65Г в зависимости от вида термообработки:

- при статической нагрузке  $\tau_{\text{CP}} = 145 \dots 185$  МПа;
- при пульсирующей нагрузке, изменяющейся от 0 до  $\text{max}$  и от  $\text{max}$  до 0,  $\tau_{\text{CP}} = 105 \dots 125$  МПа;
- при симметричной знакопеременной нагрузке  $\tau_{\text{CP}} = 80 \dots 95$  МПа, причем для расчетов рекомендуется принимать меньшие значения.

Обычно расчетный момент  $M_p$  принимают на 10 ... 20 % выше предельного допускаемого момента  $M_{\text{ПР}}$ :

$$M_p = (1,1 \dots 1,2)M_{\text{ПР}}$$

## 5.2 Зубчато-фрикционная муфта

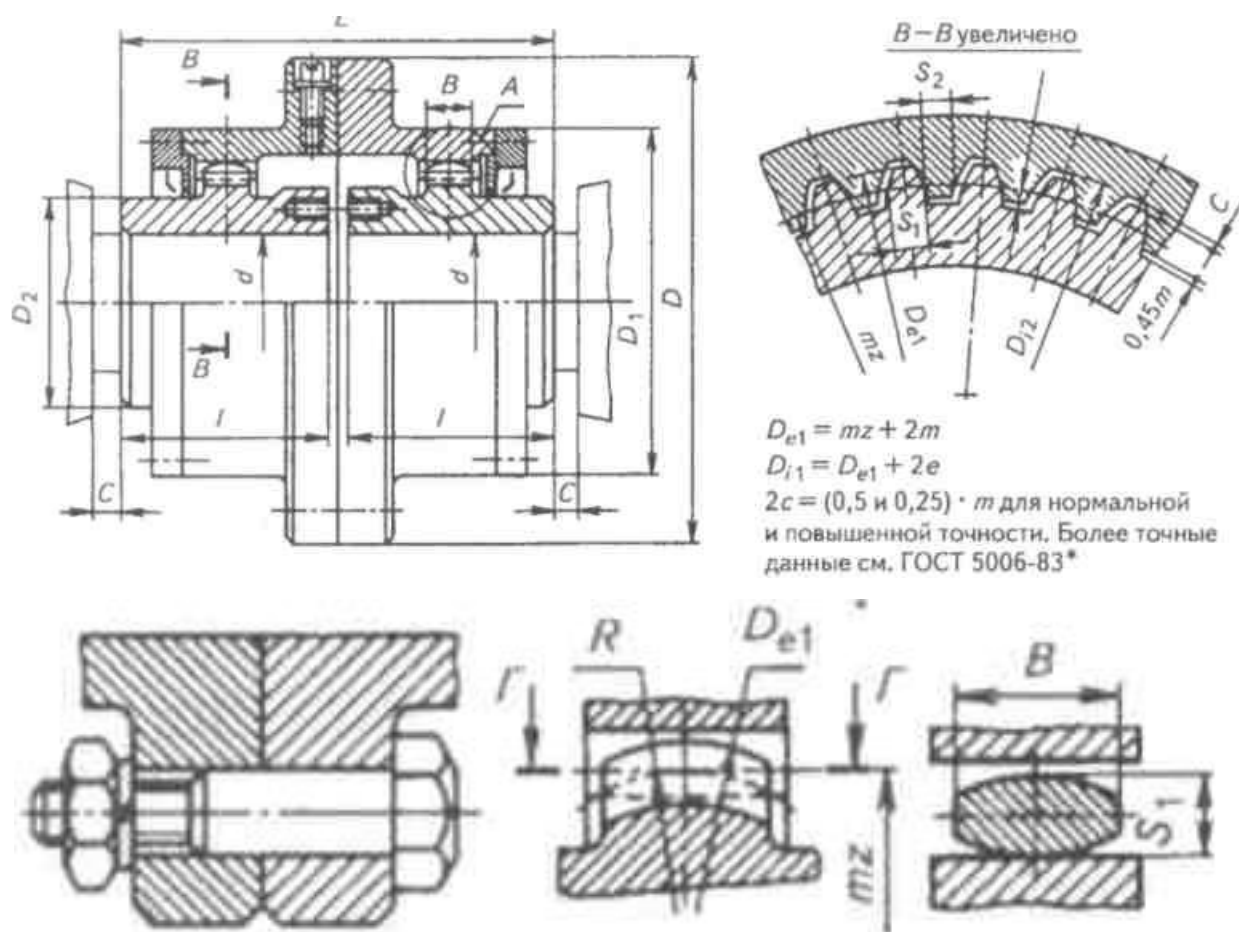


Рисунок 10 – Зубчатая муфта

Выполняют эскиз муфты и обозначают размеры. Рассчитывают условие выключения муфты при предельной нагрузке

$$\frac{M_P}{M_{\text{ПРЕД}}} \left[ \operatorname{tg}(\alpha - \beta) - \frac{D_C}{d} f_1 \right] \geq \operatorname{tg} \alpha ,$$

где  $M_P$  – расчетный вращающий момент, Нм;

$M_{\text{ПРЕД}}$  – предельно допускаемый вращающий момент, Нм;

$\alpha$  – угол наклона боковой поверхности кулачка, град (обычно  $\alpha = 25 \dots 35^\circ$ );

$\beta$  – угол трения боковой поверхности кулачка, град. ( $\beta = 3 \dots 5$ );

$D_C$  – диаметр окружности точек приложения окружного усилия к кулачкам,  
м;

$d$  – диаметр вала, м;

$f_1$  – коэффициент трения в шпоночном соединении подвижной втулки  
( $f_1 = 0,1 \dots 0,15$ ).

Предохранительные муфты для цепных и ременных передач сельскохозяйственных машин с зубчато-фрикционными шайбами стандартизированы (ГОСТ 8741– 68).

## Практическое занятие №6

### Расчет на прочность канатов и строп грузоподъемных машин

#### Введение

Все грузоподъемные машины в зависимости от вида перемещаемого груза оборудуют грузовым крюком, грейфером или электромагнитом. Применяют также траверсы, стропы, клещи, захваты и другие устройства, подвешиваемые к грузовым крюкам. Одноблочные и двухблочные крюковые подвески изготавливают вращающимися на шариковой закрытой опоре, причем гайка крепления грузового крюка в траверсе должна быть укреплена стопорной планкой для предотвращения ее свинчивания, а сам грузовой крюк обязательно снабжают предохранительным замком (рисунок 9).

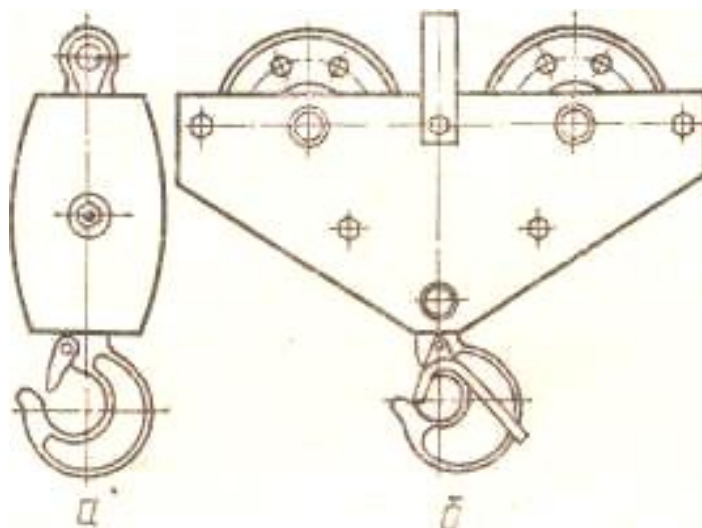


Рисунок 9 – Крюковые подвески:  
а — одноблочная; б — двухблочная.

Применяемые в сельском строительстве грузозахватные приспособления и тару изготавливают централизованно по ТУ 36-2032 – 77 «Стропы грузовые. Технические условия» и по ГОСТ 21807 – 76. Поддоны для кирпича должны соответствовать ГОСТ 18343 – 73, а устройства для пакетной перевозки кирпича – ГОСТ 23421—79.

Все съемные грузозахватные приспособления перед их применением проходят техническое освидетельствование, при котором их испытывают

нагрузкой, превышающей их номинальную грузоподъемность. Съемные грузозахватные приспособления снабжают клеймом или биркой, на которой указывают их номер, грузоподъемность и дату испытания. На таре указывают ее назначение, номер, собственную массу и наибольшую массу груза, для транспортировки которого она предназначена.

В сельском строительстве в качестве съемных грузозахватных приспособлений наиболее часто применяют одно-двух- и четырехветвевые канатные стропы типа 1СК, 2СК и 4СК, а также универсальные – УСКЛ и УСК2. При условном обозначении стропов учитывают допускаемую нагрузку в кН, например: 1СК – 2,0; 2СК – 2,0; 4СК – 2,0. Двухветвевые стропы используют для подъема вертикальных элементов зданий (стенные панели, перегородки, колонны, балки и др.), а четырехветвевые – плит ферм и т. д. Те и другие устроены одинаково и отличаются только числом ветвей. Универсальные стропы предназначены для строповки грузов обвязкой.

Все стропы рассчитывают по массе поднимаемого груза с учетом числа ветвей и угла наклона их к вертикали (рисунок 10).

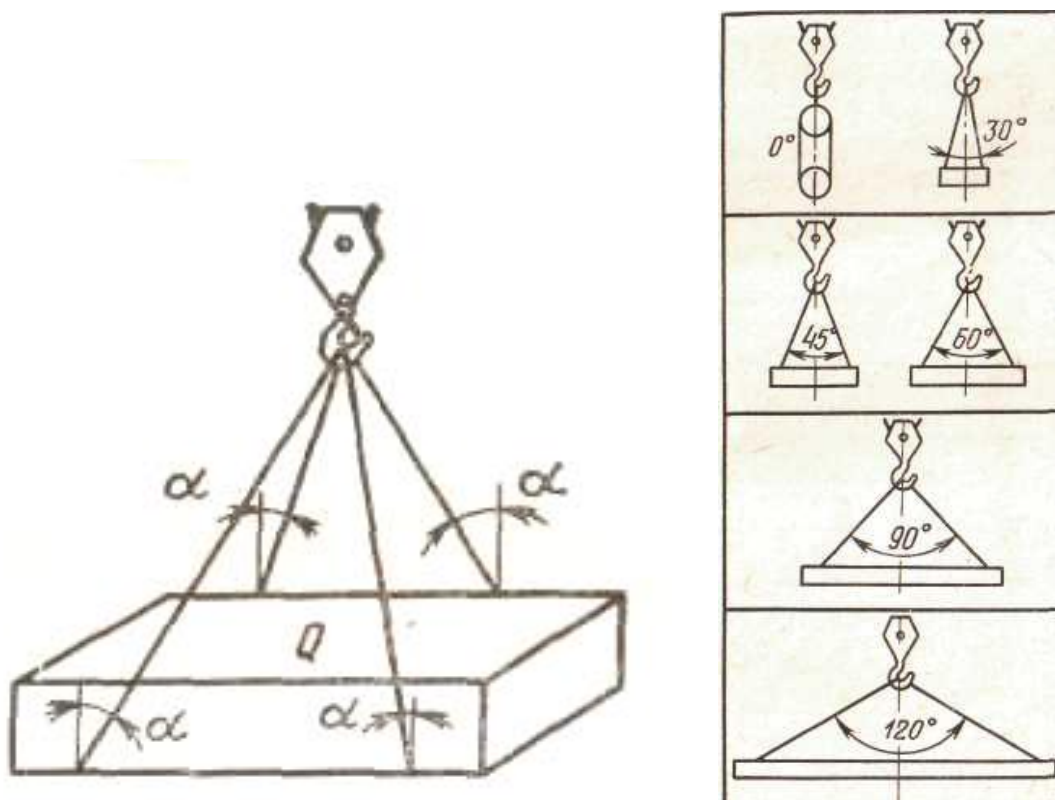


Рисунок 10 – Определение натяжения канатов и изменение грузоподъемности в зависимости от угла между ветвями стропов

Угол между ветвями 0°. Допускается нагрузка по клею на стропе  
 Угол между ветвями 30°. Нагрузку уменьшить на 5%  
 Угол между ветвями 45°. Нагрузку уменьшить на 10%  
 Угол между ветвями 60°. Нагрузку уменьшить на 15%  
 Угол между ветвями 90°. Нагрузку уменьшить на 30%  
 Угол между ветвями 120°. Нагрузку уменьшить на 50%

При массе  $Q$  (Н) натяжение в каждой ветви можно определить по формуле

$$s = \frac{1}{\cos \alpha} \times \frac{Q}{n} = m \frac{Q}{n}$$

При  $\alpha$  равном 0; 30; 45 и 60° коэффициент  $n$  принимают соответственно 1; 1,15; 1,42 и 2,0;  $n$  – число ветвей.

Угол между ветвями стропов не должен превышать 90°. В связи с тем что длину ветвей нельзя увеличивать беспрестанно, так как в перемещаемых конструкциях могут появиться опасные сжимающие усилия (даже при угле 90°), а некоторые конструкции необходимо поднимать в вертикальном положении, стропы следует заменять траверсами. Применяют различные конструкции траверс в зависимости от их назначения.

Стропы представляют собой стальные канаты односторонней или крестовой свивки из высокопрочной проволоки диаметр которой не более 3 мм (рисунок 11).

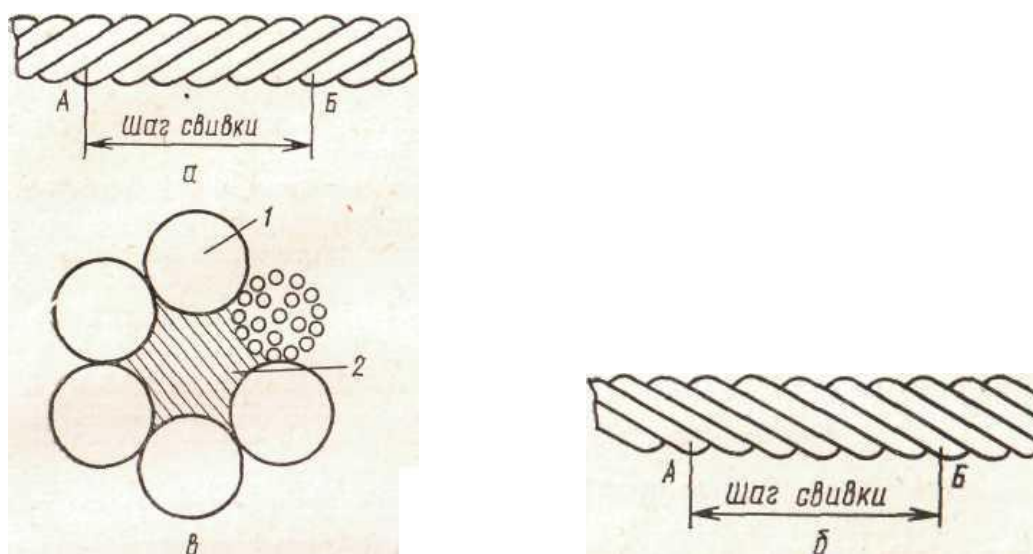


Рисунок 11 – Конструкции стальных канатов:  
 $a$  – односторонней свивки;  $b$  – крестовой свивки;  $v$  – сечение каната;  
 1 – свивка (19 проволок); 2 – пеньковый сердечник.

Канаты односторонней свивки более гибки и долговечны, но подвержены раскручиванию. Поэтому для изготовления монтажных и такелажных приспособлений используют канаты крестовой свивки. Свивку отдельных проволок и прядей осуществляют вокруг органического сердечника. Отечественная промышленность выпускает преимущественно канаты точечного касания, состоящие из шести прядей, свитых из отдельных проволок, например 19, и сердечника, который для гибкости каната в работе обычно изготавливают из пеньки.

Канаты необходимо периодически (один раз в 10 дней) осматривать и проводить их браковку в зависимости от числа обрывов проволок на одном шаге свивки, учитывая при этом наличие коррозии или поверхностного износа. Например, в канате (6X19 = 114) при коэффициенте прочности до 6 (крестовая свивка) допускается 12 обрывов проволок, от 6 до 7... 17 обрывов и т. д. Шаг свивки каната определяют следующим образом. На каком-либо участке (рисунок. 11) наносят метку (точка А), от которой вдоль центральной оси каната отсчитывают столько прядей, сколько их имеется в сечении (например, шесть в шестипрядном канате), и на следующей после счета пряди (в данном случае на седьмой) наносят вторую метку (точка Б). Расстояние между метками принимают за шаг свивки.

Если число обрывов на шаге свивки больше допустимого, канат бракуют, то есть изымают из эксплуатации. Для канатов, имеющих поверхностный износ и коррозию прядей, допустимое число обрывов в соответствии с нормами уменьшается. Стальной канат перед установкой на грузоподъемную машину проверяют расчетом на разрывное усилие.

Грузовые, стреловые, вантовые, несущие и тяговые стальные проволочные канаты перед установкой на грузоподъемную машину (ГПМ) следует проверить расчетом:

$$\frac{P_{PA3}}{S_{BK}} \geq K$$

где  $P_{PA3}$  – разрывное усилие каната, принимаемое по сертификату, а при

проектировании - по данным ГОСТ 2668-69, ГОСТ 3062...3098-74 и ГОСТ 3241-69, Н;

$S_{BK}$  – наибольшее натяжение ветви каната без учета динамических нагрузок, Н;

$K$  – коэффициент запаса прочности – регламентируется типом привода ГПМ (ручной, машинный) и режимом работы механизма.

Для кранов с ручным приводом  $K = 4$ , с машинным  $K = 5 \dots 6$ ;

• для лифтов грузовых без проводника и малых  $K = 8 \dots 13$ ;

• для лифтов грузовых с проводником и пассажирских  $K = 9 \dots 25$ ;

• при подъеме и опускании грузов с помощью приводной лебедки  $K = 4$ ;  
при подвешивании груза через крюки, петли или серьги  $K = 6$ ;

• при страховании грузов для подъема и опускания  $K = 12$ .

Если в сертификате или свидетельстве об испытании каната дано суммарное разрывное усилие, значение  $P_{PA3}$  определяют умножением суммарного разрывного усилия на 0,83 или на коэффициент, определенный по ГОСТу на канат выбранной конструкции.

Длина ветви стропа из условия угла наклона к вертикали (угол не должен превышать  $60^\circ$ ), м,

$$l_{\min} = 1,155a,$$

где  $a$  – максимальное расстояние между центром тяжести груза и местом закрепления стропа, м.

При известной массе груза  $Q$  натяжение, возникающее в каждой ветви стропа, Н (рисунок 13),

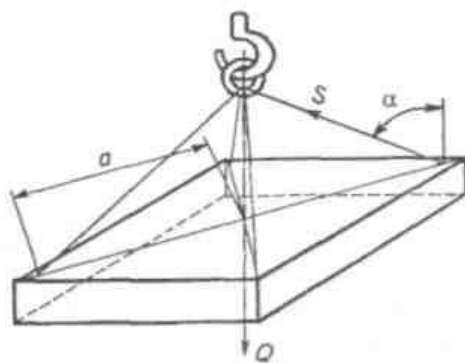


Рисунок 13 – Определение нагрузки, приходящейся на стропы



$$S_{BK} = \frac{Qg}{mK_H \cos \alpha},$$

где  $Q$  – масса груза, кг;

$g$  – ускорение свободного падения;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$m$  – число ветвей стропа;

$K_H$  – коэффициент неравномерности массы груза на ветви стропа;

при  $m > 4$   $K_H = 0,75$ , а при  $m < 4$   $K_H = 1$ ;

$\alpha$  – угол наклона строп к вертикали, град.

Разрывное усилие в ветви стропа, Н,

$$P_{PA3} = S_{BK} K_H,$$

где  $S_{BK}$  – натяжение, возникающее в каждой ветви стропа, Н.

По известному значению разрывного усилия  $P_{PA3}$ , используя данные ГОСТа, подбирают канат, его тип и диаметр (табл.6).

Таблица 6. Техническая характеристика стальных канатов

Диаметр каната, мм	Масса 100 м смазанного каната, кг	Разрывное усилие каната в целом, Н, при маркировочной группе проволок, МПа			
		1400	1600	1700	1800

Канат типа ТК6х19(1 + 6 + 12) +1 о. с. (ГОСТ 3070-88)

11	43,3	52550	60050	63850	65800
14,5	71,5	86700	99000	105000	108000
17,5	107	129000	147500	157000	161500
19,5	127,5	154500	176500	187500	193500
21	149,5	181000	207000	220000	227000
22,5	173,5	210000	240000	255000	263000
24	199	241000	275500	292500	302000
27	255,5	309500	354000	376000	387500
29	286	347000	396500	421500	434000
32	353	428000	489500	520000	536000
35	427	518000	592000	614500	648000

Канат типа ТК6х37(1+6+12+18)+1 о. с. (ГОСТ 3071-88)

9	27,35	-	36850	39150	41450
11,5	42,7	-	575500	61050	62550

13,5	61,35	-	82400	87700	89600
15	83,45	98400	112000	119000	122000
18	109	128000	146500	155500	159500
20	138	162000	185500	197000	202000
22,5	170,5	200000	229000	243500	249000
24,5	206	242500	277000	294500	301500
27	245,5	289000	330500	351000	360000
29	288	339000	387500	412000	422000
31,5	334	393500	449500	478000	489500
33,5	383,5	451500	516500	548500	561500
36,5	436	514000	587500	624000	639500
38	492	580000	662500	704000	721500
39,5	551,5	650000	743000	789500	808500

Канат типа ЛК6х19-114 (ГОСТ 3077-80)

11,5	487	-	67500	71750	73950
13	597,5	-	82850	88050	90750
15	852,5	139500	118000	125500	129500
17,5	1155	-	159500	169500	175000
19,5	1370	166600	189500	201500	208000
22	1745	211500	241500	256500	264500
25,5	2390	290000	331500	352000	363000
28	2880	349000	399000	424000	437000
32,5	3990	484000	553000	587500	605000

Канат типа ТЛК6х37-222 (ГОСТ 3079-80)

15,5	851,5	-	116000	123500	127000
17	1065	-	145000	154500	159000
49,5	1450	161000	184000	195500	201500
21,5	1670	199000	227500	242000	249500
25	2245	268000	306500	325500	335500
29	3015	360500	412000	437500	351000
30,5	3405	407000	465000	494000	509500
33	3905	466500	533000	566500	583500
35	4435	530000	605500	643500	663500
39	5395	445000	737000	783000	807500

## Практическое занятие №7

### Расчет на прочность емкостей и сосудов, работающих под давлением

#### Введение

**Сосуд** – герметически закрытая емкость, предназначенная для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ (рисунок. 14). Границей сосуда являются входные и выходные штуцера.

**Баллон** – сосуд, имеющий одну или две горловины для установки вентиля, фланцев или штуцеров, предназначенный для транспортировки, хранения и использования сжатых, сжиженных или растворенных под давлением газов.

**Бочка** – сосуд цилиндрической или другой формы, который можно перекачивать с одного места на другое и ставить на торцы без дополнительных опор, предназначенный для транспортирования и хранения жидких и других веществ.

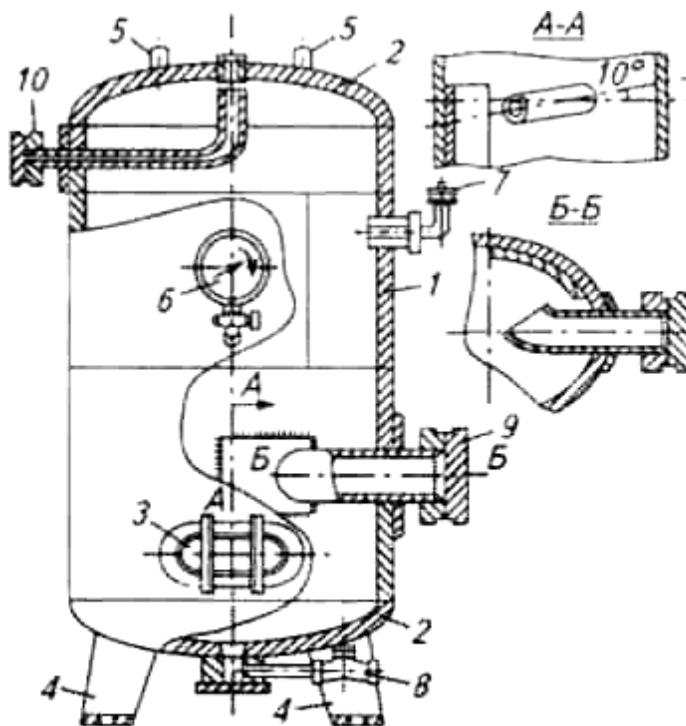


Рисунок 14 – Воздухосборник:

- 1 – корпус; 2 – днище; 3 – люк; 4 – опора; 5 – монтажные скобы;  
6 – манометр; 7 – предохранительный клапан; 8 – вентиль;

9 – нижний патрубок; 10 – верхний патрубок.

**Резервуар** – стационарный сосуд, предназначенный для хранения газообразных, жидких и других веществ.

**Цистерна** – передвижной сосуд, постоянно установленный на раме железнодорожного вагона, на шасси автомобиля (прицепа) или других средствах передвижения, предназначенный для транспортирования и хранения газообразных, жидких и других веществ.

**Штуцер** – элемент, предназначенный для присоединения к сосуду трубопроводов, трубопроводной арматуры, контрольно-измерительных приборов и т. п.

**Вместимость** – объем внутренней полости сосуда, определяемый по указанным на чертежах номинальным размерам.

Основные причины аварий сосудов, работающих под давлением:

а) значительное превышение давления из-за неисправности предохранительных клапанов, нарушение технологического процесса или воспламенение паров масла в воздухохборниках, отсутствие (неисправность) редуцирующих устройств;

б) неисправность или отсутствие предохранительных устройств сосудов с быстросъемными крышками;

в) дефекты при изготовлении, монтаже и ремонте сосудов;

г) переполнение сосудов сжиженными газами;

д) износ стенок сосудов;

е) обслуживание сосудов необученным персоналом, нарушение технологической и трудовой дисциплины;

ж) нарушение требований Правил из-за их незнания;

з) выдача должностными лицами указаний или распоряжений, принуждающих подчиненных им лиц нарушать Правила.

Для расчета номинальной толщины стенки барабана или прямой камеры пользуются одной из следующих формул (*Единицы измерения величин  $P$  и  $\sigma_d$  в п 15 даны не в СИ, что учтено в формулах соответствующими коэффициентами*):

- для случая, когда номинальным является наружный диаметр,

$$S = \frac{pD_H}{200\varphi\sigma_D + p},$$

- для случая, когда номинальным является внутренний диаметр,

$$S = \frac{pD_B}{200\varphi\sigma_D - p},$$

где  $S$  – толщина стенки, мм,

$p$  – расчетное давление внутри сосуда, кгс/см<sup>3</sup>;

$D_H$  и  $D_B$  – номинальные наружный и внутренний диаметры барабана, камеры, трубы, мм,

$\varphi$  – коэффициент прочности сварного шва (для углеродистой, низколегированной, марганцовистой, хромомолибденовой и аустенитной стали

$\varphi = 1$ :

- для хромомолибденованадиевой и высокохромистой стали  $\varphi = 0,8$ ;
- для углеродистой и низколегированной марганцовистой стали в зависимости от способа сварки: при автоматической двусторонней сварке под флюсом, контактной сварке, односторонней ручной и автоматической сварке под флюсом, электрошлаковой сварке, ручной сварке в атмосфере углекислого газа и аргонодуговой сварке  $\varphi = 0,85$ , при всех других видах ручной электрической и газовой сварки  $\varphi = 0,7$ );

$\sigma_D$  – нормальное допускаемое напряжение, кгс/мм (таблицы 7, 8),

$C$  – прибавка к расчетной толщине стенки, мм (принимается для барабанов и камер, свариваемых из листа или кованных с последующей механической обработкой:

- при толщине листа не более 200 мм  $C = 1$ ;
- при толщине листа более 200 мм  $C = 0$ .

Если наибольший минусовый допуск по толщине листа превышает 3 % номинальной толщины, то в прибавке  $C$  должна быть учтена величина этого превышения).

Таблица 7 – Нормальные допускаемые напряжения  $\sigma_d$  кгс/мм

Расчетная температура стенки, °С	Марка стали							
	10	20, 20К	25	15ГС	12МХ	15ХМ	12Х1 МФ	15Х1 М1Ф
200	13	14,7	16,5	18,5	14,7	15,3	17,3	19,2
250	11,2	13,2	14,7	16,5	14,5	15,2	16,6	18,6
300	10	11,9	13,2	15,3	14,1	14,7	15,9	18
350	8,75	10,6	11,6	13,4	13,7	14,2	15,2	17,2
400	7,7	9,2	10	11,3	13,2	13,7	14,5	16,2
450	5,3	6,4	6,8	8,3	12,5	13,1	13,8	15,2
500	3	3,4	3,4	-	9,6	10,3	12,6	14
550	-	-	-	-	3,4	5	7,4	8,5
600	-	-	-	-	-	-	-	-
650	-	-	-	-	-	-	-	-
700	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 8 – Нормальные допускаемые напряжения  $\sigma_d$  кгс/мм

Расчетная температура стенки, °С	Марка стали							
	12Х2МФБ	12Х2МФСР	Х18Н10Т Х14Н14В2М	Х14Н12В2БР	1Х12В2МФ	Х18Н10Т	Х14Н18В2БР	
200	14	16,7	14,6	-	-	-	-	
250	12,9	16	12,5	-	-	-	-	
300	12,7	15,3	12	-	-	-	-	
350	12,3	14,7	11,6	-	-	-	-	
400	12	14	11,1	-	-	-	-	
450	11,7	13,3	10,7	-	-	-	-	
500	8	12,2	10,4	-	-	-	-	
550	5,1	7,4	10,1	11,5	-	-	-	
600	-	-	-	-	6,2	7,4	10,3	
650	-	-	-	-	2,6	4,8	8	
700	-	-	-	-	-	3	4,6	

**\*Чтобы получить значения  $\sigma_d$  в СИ, необходимо цифровые данные таблицы умножить на 9,8. Пример: для стали 10 при температуре стенки 300 °С имеем  $\sigma_d = 10 \times 9,8 = 98$  МПа.**

Расчетные формулы пригодны при соблюдении следующих условий:

- для барабанов и камер, содержащих воду, пароводяную смесь или насыщенный пар,

$$\frac{S - C}{D_H} \leq 0,18 \text{ или } \frac{S - C}{D_B} \leq 0,28$$

- для камер, содержащих перегретый пар,

$$\frac{S - C}{D_H} \leq 0,28 \text{ или } \frac{S - C}{D_B} \leq 0,64$$

## Практическое занятие №8

### Расчет предохранительных устройств сосудов работающих под давлением

#### 8.1 Расчет предохранительных клапанов

##### Введение

Во избежание превышения давления пара или газа используют предохранительные клапаны и мембраны. Предохранительные клапаны бывают по:

- виду – грузовыми (рычажными), пружинными и специальными;
- конструкции корпуса – открытые и закрытые;
- способу размещения – одинарные и двойные;
- высоте подъема – низкоподъемные и полноподъемные.

Рычажные клапаны (рисунок 15, *a*) имеют относительно небольшую пропускную способность и при превышении давления сверх допустимого значения выбрасывают рабочий газ или пар в окружающую среду. Поэтому в сосудах, работающих под давлением токсичных или взрывоопасных веществ, обычно устанавливают пружинные клапаны закрытого типа (рисунок 13, *b*), сбрасывающие вещество в специально, соединенный с аварийной емкостью трубопровод. Регулируют рычажный клапан на предельно допустимое значение по манометру путем изменения массы груза *m* или расстояния *b* от оси клапана до груза. Пружинный клапан регулируют с помощью натяжного винта *1*, изменяющего усилие прижатия тарелки клапана 3 пружиной 2. Основной

недостаток предохранительных клапанов – их инерционность, т.е. обеспечение защитного действия только при постепенном нарастании давления в сосуде, на котором они установлены.

Для определения проходного сечения предохранительных клапанов используют теорию истечения газов из отверстия. Рассмотрим следующую зависимость:

Для защиты сосудов и аппаратов от очень быстрого и даже мгновенного повышения давления применяют предохранительные мембраны (рисунки 7.3. в и г), которые в зависимости от характера их разрушения при срабатывании делят на разрывные, срезные, ломающиеся, хлопающие, отрывные и специальные. Наиболее распространены разрывные мембраны, разрушающиеся под действием давления, значение которого превышает предел прочности материала мембраны.

Мембранные предохранительные устройства изготовляют из различных материалов: чугуна, стекла, графита, алюминия, стали, бронзы и др. Тип и материал мембраны выбирают с учетом условий эксплуатации сосудов и аппаратов, на которые их устанавливают: давления, температуры, фазового состояния и агрессивности среды, скорости нарастания давления, времени сброса избыточного давления и др.

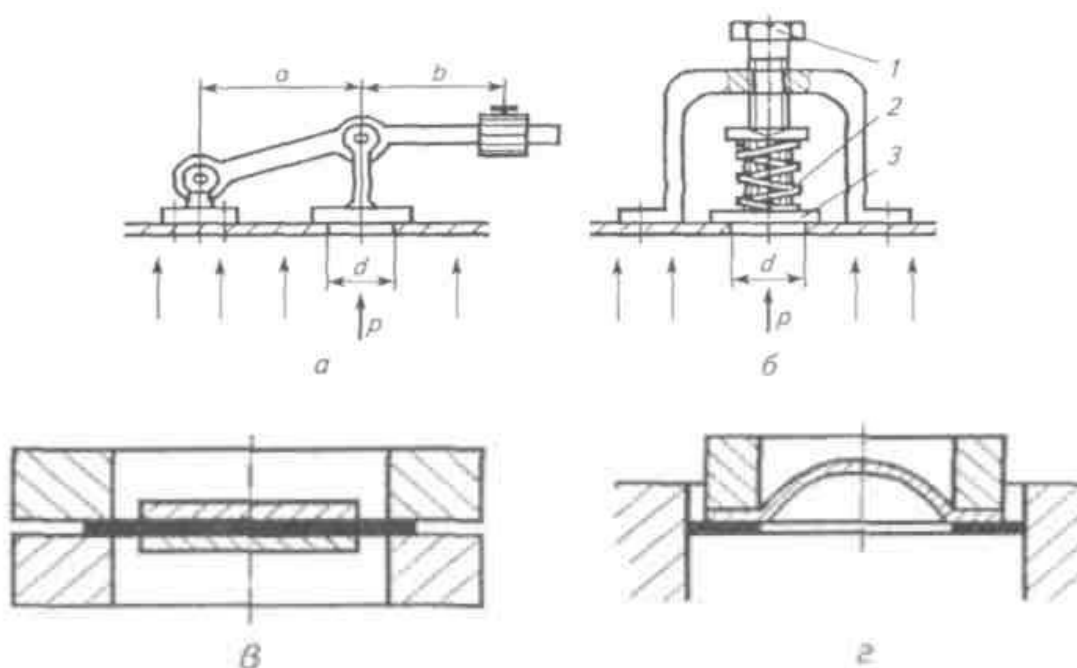




Рисунок 15 – Схемы предохранительных рычажных (*a*), пружинных (*б*) клапанов и мембран (*в* и *г*):

1 – натяжной винт; 2 – пружина; 3 – тарелка клапана

Для обеспечения работы мембраны необходимо определить толщину пластин мембраны в зависимости от значения разрушающего давления. Пропускная способность, кг/с. мембранных предохранительных устройств при повышении давления в защищаемом сосуде:

## 8.2 Расчет клапанов

Отношение высоты подъема клапана к внутреннему диаметру тарелки клапана

$$H = h / d ,$$

где  $H$  – высота подъема клапана, см;

$d$  – внутренний диаметр тарелки клапана, см, ( $2,5 < d < 12,5$ ).

При  $H \leq 0,05$  клапан неполноподъемный, при  $0,05 \leq H \leq 0,35$  клапан полноподъемный.

Число предохранительных клапанов рассчитывают по формуле

$$ndh = kQ_R / p$$

где  $n$  – число клапанов (на котлах паропроизводительностью, меньшей или равной 100 кг/ч, допускается установка одного предохранительного клапана, при паропроизводительности котла более 100 кг/ч он снабжается не менее чем двумя предохранительными клапанами);

$k$  – коэффициент; для неполноподъемных клапанов  $k = 0,0075$ , для полноподъемных клапанов  $k = 0,015$ ;

$Q_K$  – производительность котла по пару при максимальной нагрузке, кг/ч;

$p$  – абсолютное давление пара в котле, Па.

Пропускная способность предохранительных клапанов для газов и паров. Кг/ч.

$$Q = 216pa\sqrt{\frac{M}{T}},$$

где  $p$  – давление под клапаном, Па (максимальное давление под клапаном должно быть не более 1,1 расчетного);

$a$  – площадь сечения клапана, см ,

$M$  – молярная масса газов или паров;

- для воздуха  $M = 29$  кг/кмоль;
- для водяного пара  $M = 18$  кг/кмоль;

$T$  – абсолютное значение температуры пара или воды в котле, К.

Выпускное сечение предохранительных клапанов должно быть таким, чтобы выпускать весь избыточный пар или газ, вырабатываемый установкой в течение 1 ч, без заметного повышения предельного давления.

### 8.3 Расчет предохранительных мембран

Для обеспечения работы мембраны необходимо определить толщину пластин мембраны в зависимости от значения разрушающего давления. Пропускная способность, кг/с, мембранных предохранительных устройств при повышении давления в защищенном сосуде:

$$Q = 0,06S_{РАБ} p_{ПР} \sqrt{\frac{M}{T_{Г}}},$$

где  $S_{РАБ}$  – рабочее (проходное) сечение, см<sup>2</sup>;

$p_{ПР}$  – абсолютное давление перед предохранительным устройством, Па;

$T_{Г}$  – абсолютная температура газов и паров, К.

Необходимая толщина рабочей части ломающейся мембраны, мм,

$$b = p_{P} d_{ПЛ} k_{ОП} (4[\sigma_{CP}]),$$

где  $p_p$  – давление, при котором должна разрушаться пластина, Па;

$d_{пл}$  – рабочий диаметр пластины, см;

$k_{оп}$  – масштабный коэффициент определяемый опытным путем (при  $d/b = 0,32$   $k = 10 \dots 15$ );

$[\sigma_{ср}]$  – временное сопротивление срезу МПа.

Толщина мембран изготавливаемых из хрупких материалов,

$$b = 1,1r_{пл} \sqrt{\frac{p_p}{[\sigma_{из}]}}$$

где  $r_{пл}$  – радиус пластины;

$[\sigma_{из}]$  – предел прочности материала пластины на изгиб, Па.

#### 8.4 Расчет толщины теплоизоляции сосуда

Некоторые виды производственного оборудования – это источники теплоизлучений, например котлы, паропроводы, кормозапарники, пастеризаторы и т. п. Нагретые поверхности такого оборудования представляют опасность для обслуживающего персонала, так как могут вызвать термические ожоги. Для предотвращения травмирования работающих предусматривают теплоизоляцию поверхностей, имеющих высокую температуру.

При определении толщины изоляции наряду с температурными характеристиками учитывают форму изолируемой поверхности и ее размер.

Толщину изоляции, м, при заданной температуре на ее наружной поверхности определяют по следующим формулам:

- для изоляции плоских и цилиндрических поверхностей с диаметром 2 м и более, а также сосудов, у которых отношение наружного диаметра к внутреннему менее 2,

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из} (T_T - T_{II})}{\alpha_{НАР} (T_{II} - T_O)};$$

- для изоляции поверхности цилиндрических сосудов с диаметром

основания менее 2 м

$$\ln \frac{d_{ИЗ}}{d_H} = \frac{2\lambda_{ИЗ}(T_T - T_{II})}{\alpha_{НАР}d_H(T_{II} - T_0)};$$

$$\delta_{ИЗ} = \frac{d_H}{2} \left( \frac{d_{ИЗ}}{d_H} - 1 \right)$$

где  $\lambda_{ИЗ}$  — коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м·К), определяется в зависимости от вида изолирующего материала по средней температуре слоя  $T_{CP} = 0,5 (T_T + T_{II})$ :

Таблица 8. Значения коэффициента теплопроводности изоляции, Вт/м·К

Асбозурит мастичный	0,14 + 0,00015 $T_{CP}$
Асботермит мастичный	0,11 + 0,00009 $T_{CP}$
Войлок: минеральный	0,064 + 0,00017 $T_{CP}$
строительный	0,038 + 0,00018 $T_{CP}$
Минеральная вата в набивке под сетку по опорным кольцам из теплоизоляционного материала	0,055 + 0,00017 $T_{CP}$
Маты минераловатные	0,51 + 0,00017 $T_{CP}$
Ньювель мастичный	0,076 + 0,00006 $T_{CP}$
Пробка: минеральная	0,08
натуральная	0,06
Савелит мастичный	0,085 + 0,00009 $T_{CP}$
Стекловата	0,047 + 0,00031 $T_{CP}$

$T_T$  — температура теплоносителя, К;

$T_{II}$  — температура наружной поверхности изоляции, К;

$\alpha_{НАР}$  — коэффициент теплоотдачи с поверхности к окружающей среде, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\alpha_{НАР} = 8,4 + 0,06 (T_{II} - T_0)$  для плоских поверхностей;

$\alpha_{НАР} = 8,4 + 0,45 (T_{II} - T_0)$  для цилиндрических сосудов;

$T_0$  — температура окружающей среды (воздуха помещения), К;

$d_{ИЗ}$  — диаметр изолированной поверхности, м;

$d_H$  — диаметр неизолированной поверхности, м.

## Практическое занятие №9

### Расчет параметров безопасности автомобилей, тракторов и машинно-тракторных агрегатов

#### Введение

Способность транспортного средства сохранять направление движения и противостоять действию внешних сил, стремящихся вызвать занос или опрокидывание, называется *устойчивостью*. Различают продольную и поперечную и устойчивость машин и агрегатов (рисунок 16).

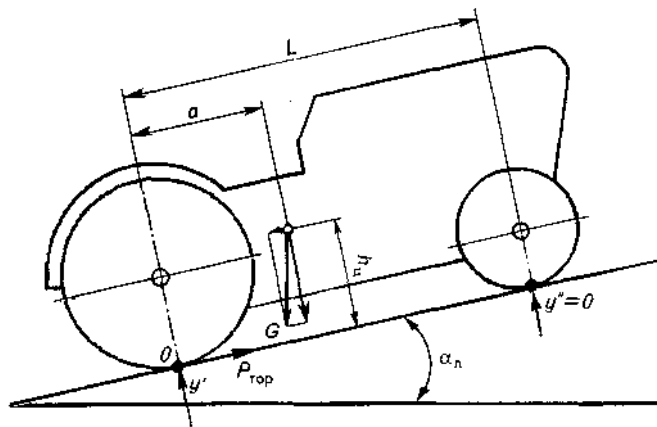


Рисунок 16 – Схема сил, действующих на колесный трактор, стоящий на предельном подъеме:

$y'$  и  $y''$  – нормальная реакция дороги на колеса, расположенные в нижней и верхней частях уклона;  
 $G$  – сила тяжести трактора;  $P_{\text{тор}}$  – тормозная сила.

#### 9.1 Расчет параметров устойчивости

Критерием продольной устойчивости служат предельные значения углов подъема  $\alpha_{\text{п}}$  и уклона  $\alpha_{\text{у}}$ .

Угол подъема, при котором возникает вероятность опрокидывания,

$$\text{tg } \alpha_{\text{п}} = a / h_{\text{Ц}}$$

где  $a$  – продольная координата центра масс машины, м;

$h_{\text{Ц}}$  – высота расположения центра масс машины над поверхностью дороги, м.

Предельный угол уклона колесных машин

$$\operatorname{tg} \alpha_y = (L - a) / h_{\text{Ц}},$$

где  $L$  – продольная база машины, м.

Для гусеничных тракторов:

при подъеме  $\operatorname{tg} \alpha_{\text{П}} = (0,5L + a) / h_{\text{Ц}};$

при уклоне  $\operatorname{tg} \alpha_y = (0,5L - a) / h_{\text{Ц}}.$

Для тракторов с балансирной подвеской величина  $L$  рассматривается как продольная база балансирных кареток.

Предельные углы подъема для колесных тракторов  $35 \dots 40^\circ$ , а уклона около  $60^\circ$ . Примерно в этих же пределах находятся рассматриваемые углы для грузовых автомобилей, работающих с установленной для них номинальной грузоподъемностью при равномерном распределении груза по платформе; без груза  $\alpha_{\text{П}} = \alpha_y = 60^\circ$ . Для гусеничных тракторов с полужесткой подвеской эти углы равны  $35 \dots 40^\circ$ , а с балансирной подвеской – несколько меньше. Для самоходных шасси общего назначения без навесных машин  $\alpha_{\text{П}} = 20 \dots 25^\circ$ ,  $\alpha_y > 60^\circ$ . Центр масс легковых автомобилей находится приблизительно посередине продольной базы, поэтому у них значения предельных углов подъема и уклона почти одинаковы, в большинстве случаев они не меньше  $60^\circ$ . Для транспортных агрегатов наиболее опасно поперечное опрокидывание. Поперечная устойчивость определяется статическим углом  $\beta_0$  уклона, при котором машина стоит, не опрокидываясь и не сползая. Его предельная величина

$$\operatorname{tg} \beta_0 = 0,5 B / h_{\text{Ц}},$$

где  $B$  – ширина колеи транспортного средства, м.

Для гусеничных тракторов к значению  $B$  прибавляют ширину гусеницы  $b$

$$\operatorname{tg} \beta_0 = 0,5 (B + b) / h_{\text{Ц}}.$$

Для тракторов с четырьмя колесами  $\beta_0$  находится в пределах  $40 \dots 50^\circ$ . Приблизительно такие же значения статического угла уклона характеризуют

поперечную устойчивость гусеничных тракторов. Для тракторов трехколесного типа  $\beta_0 = 30...35^\circ$ , для грузовых автомобилей при полной нагрузке, равномерно распределенной по платформе,  $\beta_0 = 35^\circ$ . В легковых автомобилях  $h_{Ц} \leq 0,5B$ , поэтому для них  $\beta_0 \geq 45^\circ$ .

Статический угол поперечного уклона, при котором возможно сползание машины,

$$\operatorname{tg} \beta_C = \varphi$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления с дорогой в боковом направлении; зависит от механических свойств дороги и конструкции движителя (табл. 9,10).

Таблица 9 – Коэффициенты сопротивления качению  $f$  и коэффициенты сцепления  $\varphi$  тракторов с почвой

Тип пути	Тракторы на пневматических шинах		Гусеничные тракторы	
	$f$	$\varphi$	$f$	$\varphi$
Грунтовая сухая дорога	0,03...0,05	0,6...0,8	0,05...0,07	0,9...1,1
Целина, плотная залежь	0,05...0,07	0,7...0,9	0,06...0,07	1,0...1,2
Залежь 2-3 летняя, скошенный луг	0,06...0,08	0,6...0,8	0,06...0,07	0,9...1,1
Стерня	0,08...0,10	0,6...0,8	0,06...0,08	0,8...1,0
Вспаханное поле	0,12...0,18	0,5...0,7	0,08...0,10	0,6...0,8
Поле подготовленное под посев	0,16...0,18	0,4...0,6	0,9...0,12	0,6...0,7
Болотно-торфяная целина	-	-	0,11...0,14	0,4...0,6
Укатанная снежная дорога	0,03...0,04	0,3...0,4	0,06...0,07	0,5...0,7

Таблица 10 – Коэффициенты сопротивления качению  $f$  и коэффициенты сцепления  $\varphi$  шин автомобилей с почвой

Тип пути	$f$	$\varphi$
Асфальтированное шоссе	0,015...0,020	0,60...0,75
Гравийно-щебеночная дорога	0,020...0,030	0,50...0,65
Бульжная мостовая	0,025...0,035	0,40...0,50
Сухая грунтовая дорога	0,030...0,050	0,50...0,70
Грунтовая дорога после дождя	0,050...0,150	0,35...0,50
Песок	0,100...0,300	0,65...0,75
Укатанная снежная дорога	0,030...0,040	0,30...0,35

На боковую устойчивость влияют динамические явления, возникающие от неровностей дороги, которые интенсивней проявляются при увеличении скорости движения. Поэтому угол  $\beta_{д}$ , определяющий динамическую боковую устойчивость машин, всегда меньше статического угла поперечного уклона:

$$\beta_{\text{д}} = (0,4 \dots 0,6) \beta_0$$

## 9.2 Расчет критической скорости опрокидывания

Опрокидывание транспортного средства возможно не только при работе на склонах, но и на горизонтальном участке пути от действия центробежных сил на повороте. Значение критической скорости  $V_{\text{кр}}$ , м/с, при которой возможно опрокидывание при осуществлении поворота,

$$V_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{gBR}{2h_{\text{ц}}}}$$

где  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$R$  – радиус поворота, м.

## 9.3 Расчет тормозного пути

Степень опасности травмирования людей при эксплуатации транспортных средств во многом зависит от эффективности тормозных устройств. Полное время  $t$  аварийной остановки движущихся машины или агрегата можно разложить на отдельные элементы:

$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

где  $t_1$  – время реакции водителя (с момента обнаружения препятствия до начала воздействия на рычаг или педаль управления тормозом) – зависит от индивидуальных особенностей водителя, его возраста, рабочего стажа и т. п. и находится в пределах 0,2 ... 1,5 с;

$t_2$  – время срабатывания тормозов – зависит от конструкции привода, принимается: для тормозов с гидравлическим приводом 0,2 с, с механическим – 0,3, с пневматическим – 0,6 ... 0,7 с, для автопоезда с гидроприводом 2 с;

$t_3$  – время от начала торможения до полной остановки транспортного средства – изменяется в пределах 0,2 ... 0,5 с.



Эффективность торможения мобильных машин оценивают по значению остановочного пути  $l_0$ , который пройдет машина с момента обнаружения препятствия до момента ее остановки, м:

$$l = (t_1 + t_2 + t_3) \frac{V_0}{3,6} + \frac{k_{\text{Э}} V_0^2}{254 f},$$

где  $V_0$  – начальная скорость при торможении, км/ч;

$k_{\text{Э}}$  – коэффициент эксплуатационных условий торможения – учитывает нарушение регулировок тормозов, их загрязнение, принимается равным для легковых автомобилей 1,2, для грузовых – 1,4 ... 1,5;

$f$  – коэффициент сцепления шин с почвой (см. табл. 15, 16).

В случае, когда трактор или автомобиль буксирует прицеп, не имеющий тормозов на колесах, остановочный путь увеличивается до значения  $l_{\text{ОП}}$ , м:

$$l_{\text{ОП}} = (t_1 + t_2 + 0,5t_3) \frac{V_0}{3,6} + \frac{k_{\text{Э}} V_0^2 (G_a + G_{\text{П}})}{254 f G_a}$$

где  $G_a$  – масса автомобиля (трактора), кг;

$G_{\text{П}}$  – масса прицепа, кг.

## **Практическое занятие №10**

### **Расчет технических средств электробезопасности**

#### **Введение**

Энерговооруженность труда в сельскохозяйственном производстве достаточно высока. Однако электрический ток представляет собой большую опасность для здоровья и жизни людей.

**Электробезопасность** – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Установлено, что наибольшее число несчастных случаев происходит в результате допуска к работе с электрическими устройствами необученного персонала и пренебрежительного отношения работающих к средствам защиты.

При термическом действии тока возможны ожоги отдельных участков тела, нагрев до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока выражается в распаде молекул крови и лимфы на ионы. Изменяется физико-химический состав этих жидкостей, что приводит к нарушению жизненного процесса.

Биологическое действие тока заключается в раздражении и возбуждении тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и связанных с его жизненными функциями.

Различают электротравмы:

- местные (электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения), вызывающие локальное повреждение организма;
- общие, когда поражается весь организм из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Исход поражения электрическим током определяют следующими факторами: электрическим сопротивлением тела человека, силой протекающего через тело тока, временем воздействия тока, путем протекания тока, частотой и родом тока, индивидуальными особенностями организма человека.

Основной поражающий фактор электрического тока – сила тока, проходящего через тело человека.

### 10.1 Расчет защитного заземления

1. Исходя из характеристики защищаемого объекта по ПУЭ, ПТБ и ПТЭ, установить допустимое сопротивление растеканию тока заземляющих устройств  $R_{з.д}$  (таблица 11).

2. Выбрать материал для заземлителей (например, труба диаметром 40 мм, толщина стенки не менее 3,5 мм, материал – Ст. 5).

3. По таблице 12 выбрать приближенное значение удельного сопротивления грунтов  $\rho_{гр}$ .

Таблица 11 – Наибольшие допустимые сопротивления заземляющих устройств  $R_{з.д}$

Вид электроустановки	Сопротивление заземляющего устройства $R_{з.д}$ Ом
Электроустановки напряжением 3...35кВ и опоры воздушных линий, на которых установлены силовые и измерительные трансформаторы, разъединители, предохранители и другие аппараты при одновременном использовании заземляющего устройства для установок напряжением до 1000В	$125/I_3$ , но не более 10 (расчетное значение тока замыкания на землю $I_3$ , [А] задается энергосистемой)
То же, но для установок напряжением выше 1000В	$125/I_3$ , но не более 10
Электроустановки напряжением до 1000В с заземленной или изолированной нейтралью	4
То же при суммарной мощности генераторов и трансформаторов, питающих данную электрическую сеть, до 100кВА	10

<p>Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением:</p> <p>3...20кВ в населенной местности и для всех линий 35 кВ при удельном сопротивлении земли, Ом м:</p> <p>до 1000</p> <p>более 100 до 500</p> <p>более 500 до 1000</p> <p>более 1000</p> <p>3...20 кВ в ненаселенной местности при удельном сопротивлении земли, Ом м:</p> <p>до 100</p> <p>более 100</p>	<p>10</p> <p>15</p> <p>20</p> <p>30</p> <p>не более 30</p> <p>не более 0,3<sub>p</sub></p>
<p>Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением до 1000В:</p> <p>при изолированной нейтрали</p> <p>при заземленной нейтрали</p>	<p>50</p> <p>Опоры заземляются подсоединением к нулевому проводу</p>

Таблица 12 – Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды

Грунт	$\rho_{\text{тр.}} \text{ Ом см} \cdot 10^4$	$\rho_{\text{тр.}} \text{ Ом см} \cdot 10^4$ рекомендуемые для приближенных расчетов
Песок	4...7 и более	7
Супесь	1,5...4 и более	3
Суглинок	0,4...1,5	1
Глина	0,08...0,7	0,4
Садовая земля	-	0,4
Значительный слой глины (7...10 м), глубже гравий, скала	-	0,7
Каменистая глина (верхний слой глины 1...3м, ниже гравий или каменистый хрящ)	-	1
Чернозем	0,096	0,2
Торф	-	0,2
Мергель, известняк, крупнозернистый песок с валунами, скала, валуны	-	10-20
Морская вода	0,002...0,01	0,01
Речная вода (на равнинах)	-	0,5

4. По таблице 13 определить значение повышающего коэффициента  $K_{\Gamma}$ , который учитывает изменения сопротивления грунта в зависимости от климатических зон РФ. Характеристика климатических зон приведена в таблице 14.

Таблица 13 – Значения повышающего коэффициента  $K_{\Gamma}$

Климатическая зона	Тип заземлителей	
	Протяженные горизонтально проложенные (полосовые и др.) на глубине залегания от поверхности земли 0,8м	Стержневые вертикально установленные длиной 2,5...3м при глубине залегания от поверхности земли 0,5...0,8м
1	4,5...7	1,8...2
2	3,5...4,5	1,6...1,8
3	2,5...4,0	1,4...1,6
4	1,5...2,0	1,2...1,4

Таблица 14 – Характеристика климатических зон

Данные, характеризующие климатические зоны	Климатические зоны РФ			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	от -20 до -15	от -15 до -10	от -10 до -0	от -0 до -15
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	от 16 до 18	от 18 до 22	от 22 до 24	от 24 до 26
Среднее количество осадков, мм	≈ 400	≈500	≈500	≈300...500
Продолжительность заморозания вод, дни	190...170	150	100	0

5. Определить расчетное значение удельного сопротивления грунта, Омм:

$$R_p = \rho_{\Gamma P} K_{\Gamma}$$

6. Определить расчетное сопротивление растеканию электрического тока

одиночного заземлителя (стержня или трубы), заглубленного в землю, верхний конец которого находится на поверхности земли, Ом:

$$R_{з.д} = 0,366 \frac{\rho_P}{l} \lg \frac{4l}{d}$$

где  $l$  – длина заземлителя, м;

$d$  – диаметр заземлителя, м.

Для стержней или труб, верхний конец которых заглублен в землю, сопротивление заземления, Ом,

$$R_{з.д} = 0,366 \frac{\rho_P}{l} \left( \lg \frac{2l}{d} + 0,5 \lg \frac{4h+l}{4h-l} \right)$$

где  $h$  – расстояние от поверхности до середины заземлителя, м.

Для горизонтально расположенной в земле на расстоянии  $h$  от ее поверхности полосы сопротивление заземления, Ом,

$$R_{з.д} = 0,366 \frac{\rho_P}{l} \lg \frac{2r^2}{dh}$$

где  $l$  – длина полосы, м;

$b$  – ширина полосы, м.

7. Определить число одиночных заземлителей (труб, стержней или полос),

$$n_3 = \frac{R_{з.р.}}{R_{з.д.}}$$

8. Из таблицы 15 по числу заземлителей  $n_3$  выбрать значение отношения расстояния между заземлителями  $L_T$  к их длине  $l$  и значение коэффициента экранирования  $\eta_{Э}$ . Из отношения  $L_T / l = m$  определить расстояние между заземлителями, м,

$$L_T = \frac{m}{l}$$

9. Определить число заземлителей  $n_{ТР}$  с учетом коэффициента экранирования  $\eta_{Э}$ ,

$$n_{TP} = \frac{R_{3.P}}{R_{3.Д} \eta_{\text{Э}}}$$

10. Выполнить схему защитного заземления.

Таблица 15 – Коэффициент экранирования трубчатых заземлителей  $\eta_{\text{Э}}$  (без учета влияния соединяющей полосы)

Число заземлителей $n$	Отношение расстояния между заземлителями $L_n$ к их длине $l$	Коэффициент экранирования $\eta_{\text{Э}}$	Число заземлителей $n$	Отношение расстояния между заземлителями $L_n$ к их длине $l$	Коэффициент экранирования $\eta_{\text{Э}}$
Заземлители, расположенные в ряд					
2	1	0,85	10	1	0,59
2	2	0,91	10	2	0,74
2	3	0,94	10	3	0,81
3	1	0,78	15	1	0,55
3	2	0,86	15	2	0,69
3	3	0,91	15	3	0,78
5	1	0,7	20	1	0,49
5	2	0,81	20	2	0,68
5	3	0,86	20	3	0,77
Заземлители, расположенные по четырехугольному контуру					
4	1	0,69	40	1	0,41
4	2	0,78	40	2	0,58
4	3	0,85	40	3	0,67
6	1	0,52	60	1	0,39
6	2	0,73	60	2	0,55
6	3	0,8	60	3	0,65
10	1	0,55	100	1	0,36
10	2	0,68	100	2	0,52
10	3	0,76	100	3	0,62
20	1	0,47			
20	2	0,63			
20	3	0,71			

## 10.2 Расчет зануления

1. Для быстрого автоматического отключения участка сети с зануленными корпусами электроприемников или арматурой железобетонных опор при проектировании следует соблюсти условие, чтобы расчетный ток однофазного короткого замыкания  $J_{KЗ}$  в конце данного участка не менее чем в 3 раза превышал номинальный ток плавкой вставки  $J_{ПВ}$  защищающего его предохранителя или номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с зависимой от тока характеристикой:

$$J_{ПВ} \leq \frac{J_{KЗ}}{3}$$

Во взрывоопасных помещениях или взрывоопасных наружных электроустановках для предохранителей необходимо выполнить условие

$$J_{ПВ} \leq \frac{J_{KЗ}}{4}$$

Для автоматических выключателей с зависимой характеристикой номинальный ток расцепителя

$$J_{ПВ} \leq \frac{J_{KЗ}}{6}$$

Для автоматического выключателя, имеющего расцепитель с независимой характеристикой, при номинальном токе автоматического выключателя до 100 А ток срабатывания расцепителя

$$J_{ПВ} \leq \frac{J_{KЗ}}{1,4}$$

а при номинальном токе более 100 А



$$J_{ПВ} \leq \frac{j_{КЗ}}{1,25}$$

2. Сила тока короткого замыкания для проверки указанных выше соотношений, А,

$$J_{КЗ} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{II} + Z_T}$$

где  $U_{\Phi}$  – фазное номинальное напряжение (220 В), В;

$Z_{II}$  – определяют по формуле, Ом,

$$Z_{II} = \Sigma l \sqrt{(R_{\Phi} + R_H)^2 + (X_{\Phi} + X_H + X_{II})^2}$$

$l$  – длина участка линии, м;

$U_{\Phi}$  и  $U_H$  – удельные активные сопротивления фазного и нулевого проводников, Ом/м; определяют по приведенным далее данным или из отношения  $R = \rho/S$ ;

Марка провода	$R_{\Phi} (R_H)$ , Ом/м	Марка провода	$R_{\Phi} (R_H)$ , Ом/м
M10	$1,88 \times 10^{-3}$	A35	$10^{-3}$
M16	$1,27 \times 10^{-3}$	ПС05	$1,2 \times 10^{-2}$
M25	$1,84 \times 10^{-3}$	ПС25	$0,67 \times 10^{-2}$
A16	$2 \times 10^{-3}$	ПС35	$0,54 \times 10^{-2}$
F25	$1,34 \times 10^{-3}$	ПС50	$0,39 \times 10^{-2}$

$\rho$  – удельное электрическое сопротивление (для меди  $\rho = 1,75 \times 10^{-8}$  Ом • м, для алюминия  $\rho = 2,9 \times 10^{-8}$  Ом • м, для проводниковой стали  $\rho = 10^{-7}$  Ом • м);

$S$  – площадь сечения проводника, м<sup>2</sup>;

$X_{\Phi}$  и  $X_H$  – удельные значения внутренних индуктивных сопротивлений фазного и нулевого проводников, Ом/м; если проводники выполнены из цветных металлов,  $X_{\Phi}$  и  $X_H$  можно считать равными нулю; в остальных случаях на воздушных линиях с номинальным напряжением  $U_H$  до 1 кВ  $X_{\Phi} = X_H = 0,3 \times 10^{-3}$  Ом/м, при  $U_H = 6$  или 10 кВ индуктивное сопротивление проводников  $X_{\Phi} = X_H = 0,4 \times 10^{-3}$  Ом/м;

$X_{\Pi}$  – удельное внешнее индуктивное сопротивление петли проводников «фаза – нуль», которое ориентировочно принимают  $0,6 \times 10^{-3}$  Ом/м для воздушных линий,  $0,5 \times 10^{-3}$  Ом/м для проводки на изоляторах внутри помещений,  $0,4 \times 10^{-3}$  Ом/м для проводки на роликах,  $0,15 \times 10^{-3}$  Ом/м для проводки в трубах;

$Z_T$  – сопротивление фазы трансформатора току однофазного короткого замыкания, Ом; при вторичном номинальном напряжении трансформатора 400/230 В приближенно

$$Z_T = \frac{K_T}{S_H}$$

$K_T = 26$  при схеме трансформатора «звезда – звезда с нулем» и номинальном первичном напряжении  $U_{HI} = 6...35$  кВ;  $K_T = 7,5$  при схеме «звезда – зигзаг с нулем» и  $U_{HI} = 6... 10$  или  $K_T = 10$  при той же схеме и  $U_{HI} = 20 ... 35$  кВ. В случае вторичного номинального напряжения 230/130 В все значения уменьшаются в 3 раза;

$S_H$  — номинальная мощность трансформатора, кВт.

Если разные участки линии выполнены проводниками неодинаковых марок, то вычисляют  $Z_{\Pi}$  для каждого участка отдельно, а затем находят их арифметическую сумму.

3. При расчете тока предохранителей для электродвигателей должны соблюдаться соотношения:

в случае электропривода с легкими условиями пуска

$$J_{ПВ} = \frac{J_{\Pi}}{2,5}$$

для электроприводов с тяжелыми условиями пуска

$$J_{ПВ} = \frac{J_{\Pi}}{1,6...2},$$

где  $J_{\Pi}$  — сила пускового тока электродвигателя, А;

$$J_{II} = \frac{1000kP_{ЭД}}{\sqrt{3}U_{\phi} \cos \varphi \eta_{ЭД}},$$

где  $k$  – коэффициент кратности пускового тока; для трехфазных асинхронных электродвигателей  $k = 5.7$ ;

$P_{ЭД}$  – мощность электродвигателя, кВт;

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

$\varphi$  – коэффициент мощности; определяют по таблице 16;

$\eta_{ЭД}$  – КПД электродвигателя – указан в его паспорте.

Таблица 16 – Значения коэффициента мощности электродвигателей серии АО2

Номинальная мощность электродвигателя $P_{ЭД}$ , кВт	Значения $\cos \varphi$ при частоте вращения электродвигателей, мин <sup>-1</sup>			
	3000	1500	1000	750
0,4	-	-	0,65	-
0,6	-	-	0,68	-
0,8	0,86	0,78	0,71	-
1,1	0,87	0,80	0,73	-
1,5	0,88	0,81	0,75	-
2,2	0,89	0,83	0,77	0,69
3,0	0,89	0,84	0,78	0,7
4,0	0,89	0,85	0,79	0,71
5,5	0,89	0,86	0,81	0,72
7,5	0,89	0,87	0,82	0,81
10	0,89	0,88	0,89	0,83
13	0,89	0,89	0,89	0,84
17	0,9	0,89	0,9	0,85
22	0,9	0,9	0,9	0,85
30	0,9	0,91	0,91	0,88
40	0,91	0,91	0,91	0,88

4. Плавкие вставки подбирают по стандартной шкале для номинального тока: 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 6, 10, 15, 20, 25, 35, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 260, 300, 350, 430, 500, 600, 700, 850 и 1000 А.

## Практическое занятие №11

### Расчет молниезащиты

#### Введение

**Молниезащитой** называется комплекс различного рода мероприятий и средств для их осуществления, обеспечивающих безопасность людей, сохранность зданий и сооружений, оборудования и материалов от прямых ударов молнии, электромагнитной и электростатической индукции, а также от заноса высоких потенциалов через металлические конструкции и коммуникации.

Прямой удар молнии очень опасен для людей, зданий и сооружений вследствие непосредственного контакта канала молнии с поражаемыми объектами. Убытки только от пожаров и взрывов, вызванных этим явлением, в ряде случаев колоссальные. Прямой удар молнии также может производить сильные механические разрушения, приводя в негодность чаще всего дымовые трубы, мачты, вышки, а иногда и стены зданий. Вместе с тем расчеты показывают, что затраты на осуществление молниезащитных мероприятий приблизительно в 1,5 раза меньше стоимости сгоревших за пять лет зданий и сооружений.

**Существуют две основные разновидности молний:** линейные и шаровые.

**Линейная молния** представляет собой разряд атмосферного электричества между облаками или между облаками и землей, происходящий за десятитысячные доли секунды, сопровождающийся громом и протеканием тока в десятки килоампер (в некоторых случаях до 500 кА). Путь молнии ветвистый, так как на ее пути встречаются участки воздуха с различными свойствами, а разряд всегда выбирает путь наименьшего сопротивления.

**Шаровая молния** встречается сравнительно редко, примерно в 300...500 раз реже линейной. Она имеет вид светящегося шара, иногда вытянутого в форме груши. Температура шаровой молнии 3000...5000 °С, диаметр 10...20 см, а длительность существования от долей секунды до нескольких минут. Она способна перемещаться со скоростью до 2 м/с чаще всего по извилистому пути и в большинстве случаев в направлении ветра. При соприкосновении с шаровой молнией на теле человека возникают сильные ожоги, иногда приводящие к смерти.

Средства защиты от линейных молний часто неэффективны против шаровой. Поэтому рекомендуется дополнительно во время грозы закрывать все окна, двери, дымоходы и т. п., а вентиляционные решетки снабжать заземленными металлическими сетками, выполненными из проволоки диаметром 2...2,5 мм, с ячейками площадью 3...4 см<sup>2</sup>.

В зависимости от значимости объекта, наличия и класса взрыво- и пожароопасных зон в производственных зданиях, а также от вероятности поражения молнией применяют (если требуется) одну из трех категорий молниезащиты.

**Молниезащиту I категории** используют для промышленных зданий со взрывоопасными зонами (помещениями) классов В-I и В-II.

**Молниезащиту II категории** выполняют для производственных объектов с зонами классов В-Ia, В-Iб и В-IIa при условии, что эти зоны занимают не менее 30 % всего здания.

**Молниезащиту III категории** применяют при грозовой продолжительности 20 ч и более в год для наружных установок класса П-III, зданий III, IV степеней огнестойкости (детских садов, яслей, школ и т. д.); больниц, клубов и кинотеатров; вертикальных вытяжных труб котельных или промышленных предприятий, водонапорных и силосных башен при высоте более 15 м от земли. Если продолжительность гроз составляет 40 ч в год и более, то молниезащита данной категории требуется для животноводческих и птицеводческих зданий III...V степеней огнестойкости, а также для жилых домов при их высоте более 30 м в случае, если они расположены далее 400 м от общего массива.

### **11.1 Расчет стержневого молниеотвода**

1. Исходные данные для расчета молниезащиты:

- наименование объекта;
- размеры объекта;
- среднее число поражений молнией 1 км<sup>2</sup> данной поверхности в год (например, для Ульяновской области – 5);

- категория производства по степени пожарной опасности;
- классификация пожароопасных помещений по ПУЭ;
- классификация взрывоопасных помещений по ПУЭ.

2. Определить число поражений молнией в год строений, не оборудованных молниезащитой:

$$M = \frac{(S + 3h)(l + 2)n}{10^6}$$

где  $l$  и  $S$  – соответственно длина и ширина строения, имеющего в плане прямоугольную форму, м;

$h$  – высота строения по его боковым сторонам, м;

$n$  – среднегодовое число ударов молний на 1 км земной поверхности в районе расположения объекта (для Ульяновска, Уфы, Пензы, Тулы, Казани, Новосибирска  $n = 5$ ; для Москвы, Вологды, Кирова, Санкт-Петербурга  $n = 2,5$ ; для Читы  $n = 3,8$ ).

Для объектов и высоких строений типа водонапорной башни, силосной башни, трубы котельной и т. п. ожидаемое число поражений

$$M = \pi r^2 n \times 10^{-6}$$

где  $r$  – эквивалентный радиус, м;  $r = 3,5h_{\text{об}}$ ;  $h_{\text{об}}$  – высота объекта или строения, м.

Исходя из конструкции зданий и сооружений, их взаимного расположения, размеров и формы, выбрать тип молниеотвода:

- одиночный стержневой,
- двойной стержневой,
- многократный стержневой,
- одиночный тросовый,
- двойной тросовый.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h < 60$  м представляет собой конус с образующей в виде ломаной линии (рисунок 13).

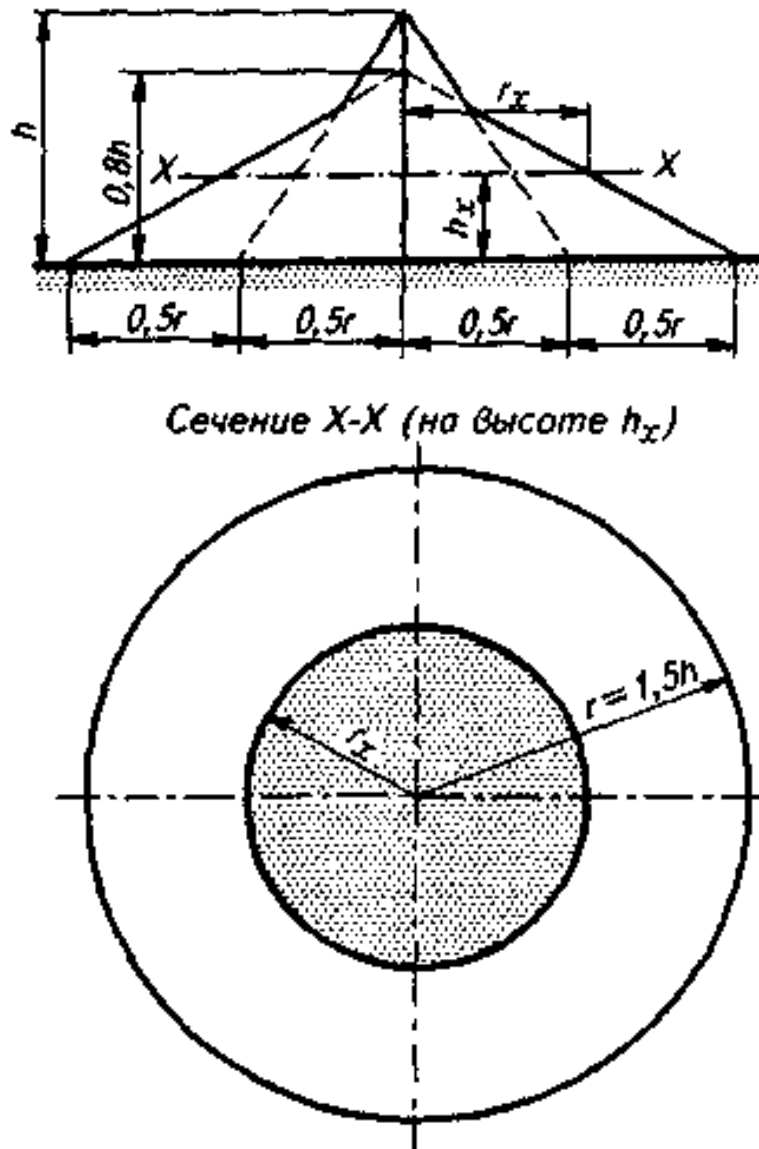


Рисунок 13 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 60 м

Основание конуса – окружность радиусом  $r = 1,5h$ . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения  $h_x$  от уровня земли представляет собой круг радиуса  $r_x$ , где  $r_x$  – радиус защиты.

Радиус зоны защиты  $r_x$  одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h < 60$  м:

$$r_x = 1,5(h - 1,25h_x) \quad \text{при} \quad 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h$$

$$r_x = 0,75(h - h_x) \quad \text{при} \quad \frac{2}{3}h \leq h_x \leq h$$

где  $h_{Xx}$  – высота защищаемого сооружения от поверхности земли, м.

Радиус зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$  более 60 м, но менее 100 м:

$$r_X = 90\left(1 - 1,25 \frac{h_{Xx}}{h}\right) \quad \text{при} \quad 60 \leq h_X \leq \frac{2}{3}h$$

$$r_X = 45\left(1 - \frac{h_{Xx}}{h}\right) \quad \text{при} \quad \frac{2}{3}h \leq h_X \leq 100$$

Зона защиты двойного стержневого молниеотвода высотой не более 60 м при расстоянии между единичными молниеотводами  $a$  изображена на рисунке 14.

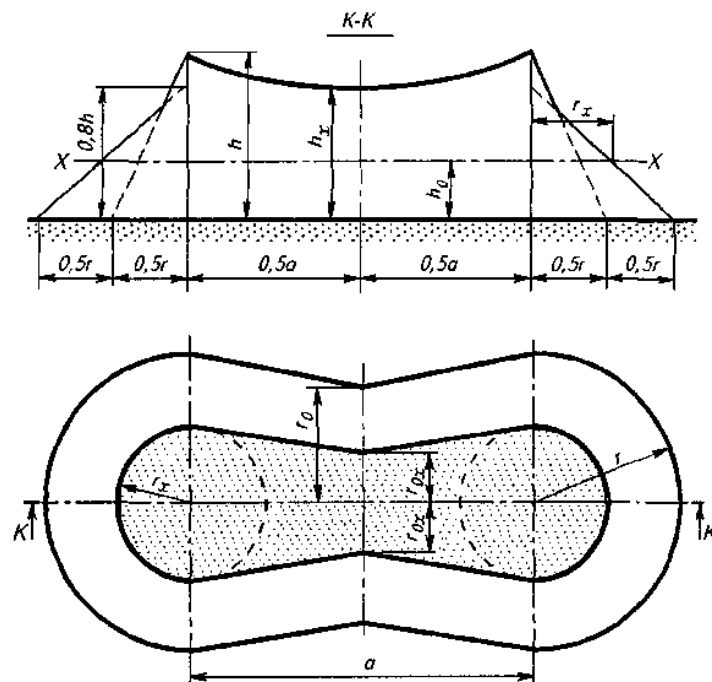


Рисунок 14 – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

Граница ее между одиночными молниеотводами равной высоты представляет собой дугу окружности, проходящую через вершины молниеотводов с центром, находящимся на перпендикуляре, восстановленном из середины расстояния  $a$  на высоте  $H = 4h$ . Торцовые области зоны защиты определяются как зоны сечения одиночных стержневых молниеотводов. Очертание зоны в сечении вертикальной плоскостью посередине между молниеотводами определяется по правилу построения зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h_0$  (наименьшая высота зоны между одиночными молниеотводами). При этом величины  $b_0$  и  $b_X$  численно равные половине ширины зоны защиты, в середине между молниеотводами соответственно будут не на уровне земли  $r_0$ , а на высоте  $h_0 - r_0$ .



При расстоянии между одиночными молниеотводами  $a < 5h$  величина  $h_0 > 0$ .

При  $a < 5h$  совместное защитное действие одиночных молниеотводов нарушается, поэтому они должны рассматриваться как одиночные и величина  $h_0 = 0$ .

Высота одиночных молниеотводов при устройстве двойного стержневого молниеотвода

$$h = 0,571h_0 + \sqrt{0,183h_0^2 + 0,0357a^2}$$

где  $h_0$  – наименьшая высота зоны защиты между одиночными молниеотводами высотой менее 60 м;

$a$  – расстояние между одиночными молниеотводами (принимается  $a < 5h$ ).

Высота зоны защиты в середине двойного стержневого молниеотвода при известных  $h$  и  $a$

$$h_x = 4h - \sqrt{9h^2 + 0,25a^2}$$

3. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой  $h \leq 60$  м с расстоянием  $b$  между опорами показана на рисунке 15.

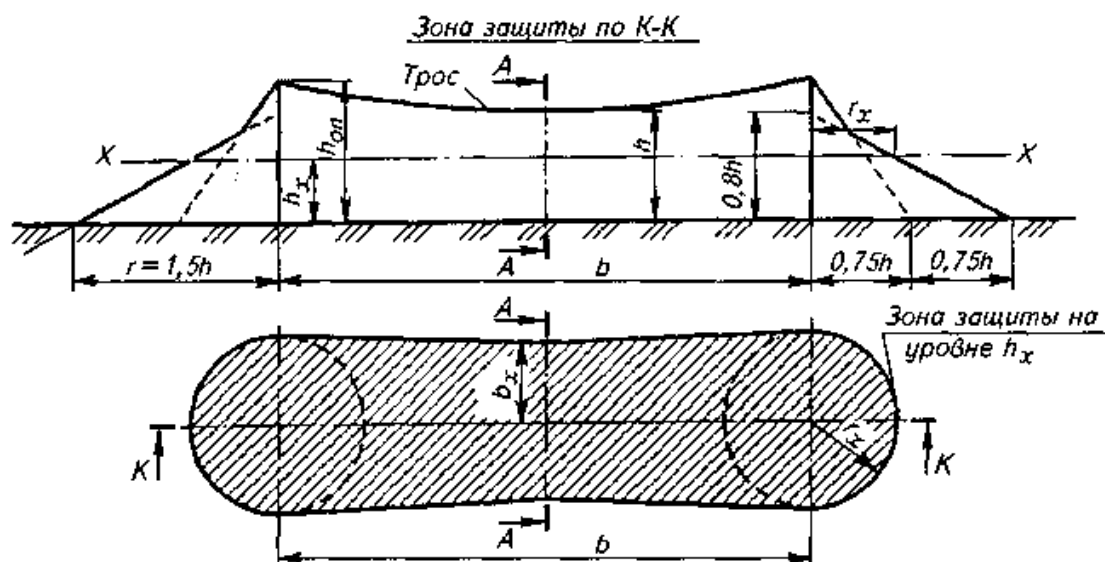


Рисунок 15 – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой 60 м

4. Для расчета зоны защиты тросового молниеотвода приняты дополнительные обозначения:

5.  $h_{\text{оп}}$  – высота опоры;

6.  $h$  – высота молниеотвода, равная расстоянию от земли до точки максимального провеса троса.

Принимается, что верхняя часть зоны защиты ограничена горизонтальной прямой, проведенной из точки максимального провеса троса. Торцовые части зоны защиты аналогичны торцовым частям двойного стержневого молниеотвода.

Очертание зоны защиты в вертикальном сечении, перпендикулярном тросу посередине между опорами, по своей форме аналогично двойному стержневому молниеотводу. Но вместо  $b_0 = 1,5h_0$  следует принимать  $b_0 = 1,25h_0$  тросового молниеотвода.

При графическом построении зоны защиты в горизонтальной плоскости на уровне  $h_x$  от опор молниеотвода наносят окружности (зоны защиты), соединяя их касательными с точками, находящимися посередине расстояния  $b$  и отстоящими от прямой, соединяющей опоры, на расстоянии  $b_{0x}$ .

При расчетах зоны защиты одиночного тросового молниеотвода высотой  $h \leq 60$  м следует пользоваться формулами:

$$b_x = 1,25(h - 1,25h_x) \quad \text{при} \quad 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h$$

$$b_x = 0,625(h - 1,25h_x) \quad \text{при} \quad \frac{2}{3}h \leq h_x \leq h$$

где  $h$  – высота молниеотвода, равная расстоянию от земли до точки максимального провеса троса, м.

Высоту опор  $h_{\text{оп}}$  выбирают с учетом стрелы прогиба. Для стального троса сечением 35... 50 мм значение стрелы прогиба снижается:

при расстоянии между опорами  $b$  до 120 м – 2 м, при  $120 \text{ м} \leq b \leq 150 \text{ м}$  – 3 м. Высота опор складывается из расчетной высоты молниеотвода  $h$  и принятой величины стрелы прогиба. Следовательно, при  $b \leq 120$  м высота опор  $h_{\text{оп}} = h + 2$  м, а при  $120 \text{ м} \leq b \leq 150 \text{ м}$  высота опор  $h_{\text{оп}} = h + 3$  м.

4. Зона защиты двойного тросового молниеотвода высотой  $h = 60$  м при расстоянии между одиночными тросовыми молниеотводами  $a \leq 4h$  показана на

рисунке 16.

Высота зоны защиты в середине двойного тросового молниеотвода высотой до 60 м при расстоянии  $a \leq 4h$

$$h_0 = 3h - \sqrt{4h^2 + 0,25a^2}$$

Высота молниеотвода при известных  $h_0$  и  $a$

$$h = 0,6h_0 + \sqrt{0,16h_0^2 + 0,05a^2}$$

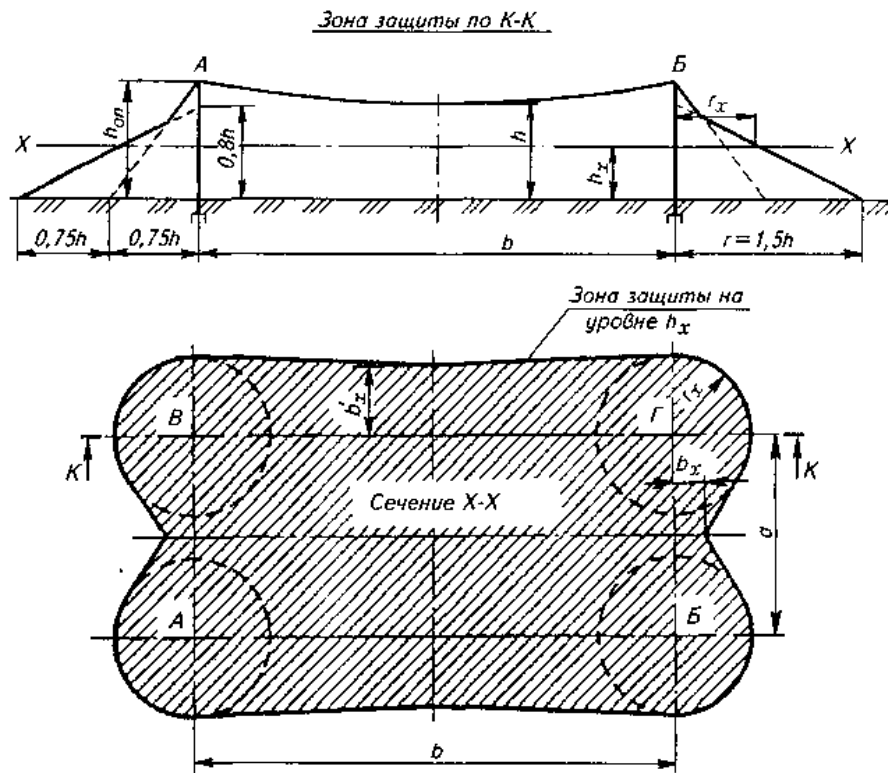


Рисунок 16 – Зона защиты двойного тросового молниеотвода высотой до 60 м

## Практическое занятие №12

### Пожаро – взрывобезопасность

#### Введение

**Горение** — это химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением большого количества теплоты и свечением. *Окислителем* чаще всего является кислород воздуха, иногда — другие химические элементы: хлор, фтор и другие. Для возникновения процесса горения необходимо наличие горючего вещества, окислителя и источника зажигания. *Горючим* называется вещество (материал, смесь, конструкция), способное самостоятельно гореть после удаления источника зажигания. *Под источником зажигания* понимают горячее или раскаленное тело, а также электрический разряд, обладающие запасом энергии и температурой, достаточной для возникновения горения других веществ (пламя, искры, раскаленные предметы, выделяемая при трении теплота и др.).

**Горение бывает полное и неполное.** Полное горение протекает при достаточном количестве кислорода (не менее 14 %), в результате чего образуются вещества, неспособные к длительному окислению (диоксид углерода, вода, азот и др.). При недостаточном содержании кислорода (менее 10 %) происходит неполное беспламенное горение (*тление*), сопровождающееся образованием токсичных и горючих продуктов (спиртов, кетонов, угарного газа и т. п.).

**Пожар** — это неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб. Пожар следует отличать от сжигания, представляющего собой контролируемое горение внутри или вне специального очага.

**Пожарная опасность объекта** заключается в возможности возникновения пожара и вытекающих из такого события последствий.

**Пожарная безопасность объекта** — это такое его состояние, при котором с регламентируемой вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара, воздействия на людей опасных и вредных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей. К опасным и вредным

факторам пожара относят открытый огонь, повышенную температуру окружающей среды и предметов, токсические продукты горения, дым, пониженную концентрацию кислорода, падающие части строительных конструкций; при взрыве — ударную волну, разлетающиеся части и вредные вещества.

**Горение может быть диффузионное и кинетическое.** Если кислород проникает в зону горения вследствие диффузии, то оно называется диффузионным. При этом высота пламени обратно пропорциональна коэффициенту диффузии, который, в свою очередь, пропорционален температуре в степени от 0,5 до 1. Кинетическое горение возникает при предварительном перемешивании горючего газа с воздухом. Однако в пламени одновременно могут происходить процессы диффузионного горения и горения предварительно смешанных компонентов горючей смеси.

Различают также гомогенное горение веществ одинакового агрегатного состояния (чаще всего газообразного) и гетерогенное горение горючих веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях. Последний вид горения одновременно является диффузионным.

Разные горючие вещества могут сгорать быстрее или медленнее. Скорость горения характеризуется количеством горючего вещества, сгорающего в единицу времени с единицы площади. В зависимости от скорости процесса различают собственно горение, взрыв и детонацию.

**Взрыв** — это быстрое превращение вещества (взрывное горение), сопровождающееся образованием большого количества сжатых газов, под давлением которых могут происходить разрушения. Горючие газообразные продукты взрыва, соприкасаясь с воздухом, часто воспламеняются, что обычно приводит к пожару, усугубляющему негативные последствия взрыва.

**Детонационное горение** возникает во взрывоопасной среде при прохождении по ней достаточно сильной ударной волны. При ударном сжатии температура газа может повыситься до температуры самовоспламенения. Происходит химическая реакция. Часть выделившейся теплоты затрачивается на энергетическое развитие и усиление ударной волны, поэтому она перемещается по горючей смеси не ослабевая. Такой комплекс,

представляющий собой ударную волну и зону химической реакции, называют детонационной волной, а само явление — **детонацией**. Детонационное горение вызывает сильные разрушения и поэтому представляет большую опасность при образовании горючих газовых систем. Однако оно может происходить только при определенном минимально необходимом начальном давлении и определенных концентрациях горючего вещества в воздухе или кислороде.

## 12.1 Расчет эвакуационных путей и выходов

1. Определить предельно допустимую длину эвакуационного участка, м,

$$L_{\text{ДП}} = vT$$

где  $v$  – скорость движения людей при вынужденной эвакуации; при движении по горизонтальным участкам принимают  $v = 16$  м/мин. при движении по лестнице вверх  $v_{\text{ВВ}} = 8$  м/мин, вниз  $v_{\text{ВН}} = 10$  м/мин;

$T$  – допускаемое время эвакуации, мин; при эвакуации из зданий I и II степеней огнестойкости принимают  $T = 6$  мин, из зданий III и IV степеней огнестойкости  $T = 4$  мин. из зданий V степени огнестойкости  $T = 3$  мин, для детских учреждений время эвакуации уменьшают на 20 %.

2. Определить плотность размещения людей  $D$  на площади  $S$  эвакуационного участка, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>:

$$D = \frac{\sum_i^n N_i f_i}{S},$$

где  $N_i$  – численность людей на участке;

$f_i$  – площадь горизонтальной проекции человека, м<sup>2</sup>.

Параметры для эвакуации людей представлены в таблице 17.

Значение  $D$  должно быть меньше 0,92 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>-

Таблица 17 – Параметры для эвакуации

Возраст человека, вид одежды и груза	Площадь горизонтальной проекции человека, м <sup>2</sup>
Взрослый человек:	
в летней одежде	0,1
в демисезонной одежде	0,113
в зимней одежде	0,125
с ребенком на руках	0,285
с рюкзаком	0,315
с легким свертком	0,235
Подросток	0,07
Ребенок	0,04 ... 0,05

3. Ширина эвакуационного участка, м,

$$B = \frac{N}{L_{\text{ПР}} \delta},$$

где  $\delta$  – предельная плотность потока людей; для взрослых значение  $\delta$  не должно превышать 10 ... 12 чел/м<sup>2</sup>. для детей – 20 ... 25 чел/м<sup>2</sup>. Значение  $\delta$  можно определить по формуле  $\delta = N/S$ .

Ширину эвакуационных дверей  $B_{\text{ДВ}}$  принимают 0,8 ... 2,4 м; проходов, маршей  $B_{\text{ПР.М}}$  – 1,05 ... 2,4; коридоров  $B_{\text{К}}$  – более 1,4; лестничных площадок – более 1,05 м, но не менее ширины марша.

4. Число путей эвакуации

$$П_{\text{Э}} = \frac{0,6N}{100B}$$

Полученное значение округляют в большую сторону, но в любом случае  $П_{\text{Э}}$  не должно быть меньше двух.

5. Количество ворот для эвакуации животных из помещения

$$n_{\text{В}} = \frac{N_{\text{Ж}}}{PC},$$

где  $N_{\text{Ж}}$  – количество содержащихся в помещении животных;

$P$  – количество животных на 1 м ширины выхода (табл. 18).

$C$  – ширина ворот, м (принимают для коровников и конюшен более 2 м. для овчарен более 2,5 для свинарников более 1,5 м).

Таблица 18 – Данные для эвакуации животных

Вид животных	Число животных на 1 м выходов $P$ в зданиях со степенью огнестойкости	
	II и III	IV и V
Коровы	30	20
Лошади	25	15
Свиньи:		
матки с приплодом и хряки	25	15
откормочное поголовье и молодняк	250	150
Овцы	200	120

## 12.2 Расчет пожарного запаса воды

1. Расход воды на наружное пожаротушение, м<sup>3</sup>,

$$Q_H = 3,6 g_H T_{\Pi} n_{\Pi},$$

где  $g_H$  – удельный расход воды на наружное пожаротушение: определяют по таблице 19;

$T_{\Pi}$  – расчетное время тушения одного пожара, ч; принимают равным 3 ч;

$n_{\Pi}$  – число одновременно возможных пожаров: при площади предприятия менее 1,5 км<sup>2</sup>,  $n_{\Pi} = 1$ . при площади 1,5 км<sup>2</sup> и более  $n_{\Pi} = 2$ .

Таблица 17 – Удельный расход воды на пожаротушение

Категория производства	Степень огнестойкости зданий	Расход воды, л/с, при объеме зданий, тыс. м <sup>2</sup>				
		до 3	3...5	5...20	20...50	50...200
Г,Д	I, II	5	5	10	10	15
А,Б,В	I, II	10	10	15	20	30
Г,Д	III	10	10	15	25	-
В	III	10	15	20	30	-
Г,Д	IV, V	10	15	20	30	-
В	IV, V	15	20	20	40	-



2. Расход воды для внутреннего пожаротушения, м<sup>3</sup>, рассчитывают в зависимости от производительности (расхода) струи и числа одновременно действующих струй:

$$Q_B = 3,6 g_B m_{\Pi} T n_{\Pi},$$

где  $g_{\Pi}$  и  $m$  – соответственно расход воды на одну струю и число струй; для производственных зданий и гаражей высотой до 50 м  $g_{\Pi} = 2.5$  л/с и  $m = 2$ ; для производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий высотой более 50 м,  $g_{\Pi} = 5$  л/с и  $m = 8$ .

3. Полная вместимость пожарного резервуара, м<sup>3</sup>,

$$W_{\Pi} = Q_H + Q_B + Q_T$$

где  $Q_T$  – регулируемый запас воды для хозяйственно-технических нужд, м<sup>3</sup>.

### 12.3 Расчет взрывоопасности производственных помещений

В основу оценки взрывоопасности производственных помещений положен энергетический подход, заключающийся в оценке расчетного избыточного давления взрыва  $\Delta p$  и сравнении его с допустимым  $\Delta p_{\text{доп}}$ .

Давление во фронте ударной волны – один из наиболее опасных факторов взрыва, воздействующих на людей. Предельно допустимое значение избыточного давления во фронте ударной волны 1 МПа, при избыточном давлении 1,4...2,1 МПа наблюдаются смертельные поражения человека от непосредственного действия ударной волны.

#### 12.3.1 Определение расчетного избыточного давления взрыва

Расчетное избыточное давление взрыва  $\Delta p$  для горючих веществ, состоящих из атомов углерода (С), водорода (Н), кислорода (О), хлора (Сl), брома (Br), йода (I), фтора (F),

$$\Delta p = (p_{\max} - p_0) \frac{mz}{V_{CB} \rho C_{CT} k_H} \frac{100}{},$$

где  $p_{\max}$  – максимальное давление взрыва стехиометрической газовой или паровой смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным, при отсутствии данных допускается принимать равным 900 кПа;

$p_0$  – начальное давление, кПа; допускается принимать равным 101 кПа;

$m$  – масса горючего газа (ГГ) или паров легко воспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), проникающих в результате аварии в помещение, кг;

$z$  – коэффициент участия горючего во взрыве. Допускается принимать следующие значения коэффициента  $z$ :

горючие газы.....	0,5
легковоспламеняющиеся и горючие жидкости.....	0,3
нагретые до температуры вспышки и выше легковоспламеняющиеся и прочие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля.....	0,3

$V_{\text{св}}$  – свободный объем помещения, определяемый как разность между объемом помещения и объемом, занимаемым технологическим оборудованием, сырьем и материалами,  $\text{м}^3$ ; при невозможности определения расчетным путем допускается принимать  $V_{\text{св}}$  условно равным 80 % геометрического объема помещения;

$\rho$  – плотность пара или газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (в расчетах можно принять, например, плотность паров аммиака  $[\text{NH}_3]$  при температуре 25 °С 0,59  $\text{кг}/\text{м}^3$  метилового спирта  $[\text{CH}_4\text{O}]$  – 1,1, этилового спирта  $[\text{C}_2\text{H}_6\text{O}]$  – 1,6. пропана  $[\text{C}_3\text{H}_8]$  – 1,6, метана  $[\text{CH}_4]$  – 0,6  $\text{кг}/\text{м}^3$  и т. д.);

$C_{\text{ст}}$  – стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, % объема;

$k_{\text{н}}$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения (допускается принимать  $k_{\text{н}} = 3$ ).

Стехиометрическую концентрацию ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ определяют по формуле

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84\beta},$$

где  $\beta = n_C + 0,25(n_H - n_X) - n_O$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения;  $n_C, n_H, n_X, n_O$  – число атомов соответственно углерода, водорода, кислорода и галогенов в молекуле горючего.

Избыточное давление взрыва  $\Delta p$  для горючих веществ, а также их смесей

$$\Delta p = \frac{m H_T p_0 z}{V_{CB} \rho_B C_P k_H},$$

где  $H_T$  – теплота сгорания, Дж/кг [для ацетилена  $H_T = 50,27 \cdot 10^6$  Дж/кг; для ацетона  $30,81 \cdot 10^6$ ; для бензола  $42,36 \cdot 10^6$ ; для бензина в зависимости от сорта  $(41 \dots 44) \cdot 10^6$ ; для водорода  $143,06 \cdot 10^6$  Дж/кг и т. д.];

$\rho_B$  – плотность воздуха при начальной температуре  $T_0$ , кг/м<sup>3</sup>;

$C_P$  – теплоемкость воздуха. Дж/кг·К): допускается принимать равной 1010 Дж/кг·К);

$T_0$  – начальная температура воздуха, К.

По последней указанной выше формуле подсчитывают и избыточное давление взрыва для пылевоздушных смесей. В этом случае коэффициент  $z$  учитывающий долю участия взвешенной горючей пыли во взрыве, при отсутствии экспериментальных сведений принимают равным 0,5. Расчетную массу взвешенной в объеме помещения пыли  $m$ , кг, определяют как сумму двух слагаемых:

$$m = m_{ав} + m_{вз},$$

где  $m_{ав}$  м – масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг;

$m_{вз} = k_{вз} m_{п}$  – расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;

$k_{вз}$  – доля отложенной в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации, при отсутствии экспериментальных сведений допускается принимать  $k_{вз} = 0,9$ ;

$m_{п}$  – масса пыли, отложившейся в помещении к моменту аварии, кг.

Расчетное избыточное давление взрыва  $\Delta p$  для гибридных взрывоопасных смесей, содержащих газы (пары) и пыли,

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2$$

где  $\Delta p_1 + \Delta p_2$  – давления взрыва, вычисляемые соответственно для газа (пара) и пыли по изложенной выше методике.

### 12.3.2 Определение допускаемого избыточного давления в помещении

1. Вначале определяют степень взрывоопасности горючих веществ по таблице 20.

Таблица 20 – Степень взрывоопасности горючих веществ

Горючие вещества	Степень взрыво-опасности	Нормальная скорость горения $u$ , м/с	Индекс опасности $f_{оп}$ , МПа, м/с
Аммиак, метан, метиловый спирт, хлористый метил, хлористый этил	1 (слабая)	< 0,3	< 14
Ацетон, бензол, бутан, бутиловый спирт, гексан, гептан, пентан	2 (средняя)	0,3 ... 0,4	14 ... 16
Бутадиен, диэтиловый эфир, пропан, пропилен, этиловый спирт	3 (повышенная)	0,4 ... 0,55	16 ... 20
Бензин, паральдегид, полиэтилен, стирол, фуран, этилен	4 (высокая)	0,55 ... 0,7	20 ... 25
Ацетилен, водород, оксид углерода, сероуглерод	5 (чрезвычайно-высокая)	> 0,7	25 ... 32

2. По установленной степени опасности вещества выбирают соответствующий ей уровень (класс) взрывоустойчивости сооружения из следующих соотношений:

Степень взрывоопасности вещества	Класс взрывоустойчивости здания
I	$(\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{ДОП}} / 1,2)$
II	$(\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{ДОП}} / 1,25)$
III	$(\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{ДОП}} / 1,3)$
IV	$(\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{ДОП}} / 1,4)$
V	$(\Delta p_{\max} = \Delta p_{\text{ДОП}} / 1,5)$

Под взрывоустойчивостью следует понимать отношение допускаемой нагрузки на самый слабый элемент конструкции, устойчивость которого при взрыве может быть обеспечена,  $\Delta p_{\text{ДОП}}$  к максимальной взрывной нагрузке  $\Delta p_{\max}$  в помещении.

Принятый класс взрывоустойчивости здания ограничивает значение максимальной взрывной нагрузки внутри помещения допускаемым избыточным давлением на наиболее слабый элемент, который может оказать влияние на взрывоустойчивость здания в целом.

4. Допускаемое избыточное давление в помещении  $\Delta p_{\text{ДОП}}$  с учетом условий работы и прочности конструкций, а также прочности связей между ними

$$\Delta p_{\text{ДОП}} = \Delta p_{\text{СТ}} k_{\text{В}} / k_{\text{ГР}}$$

где  $\Delta p_{\text{СТ}}$  – допускаемая статическая нагрузка, определяемая по наиболее слабым конструкциям, которые могут оказать влияние на взрывоустойчивость сооружения (при отсутствии необходимых данных  $\Delta p_{\text{СТ}}$  можно принимать по таблице 21 с учетом класса ответственности сооружения):

$k_{\text{В}}$  – коэффициент, учитывающий ветровой район строительства в соответствии с СНиП 2.01.07 – 85:

Ветровой район строительства	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
Коэффициент $k_{\text{В}}$	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,35	1,3	1,8

$k_{\text{ГР}}$  – коэффициент приведения статической нагрузки (табл. 22).

Таблица 21 – Допустимые значения давления  $\Delta p_{CT}$  на сооружения и конструкции

Тип и характеристика зданий, конструкций	Класс ответственности сооружения		
	I	II	III
<p>Одноэтажные производственные здания легкого типа из сборного железобетона при шаге колонн до 6 м, высотой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– до 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– более 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– до 10,8 м с крановыми нагрузками</li> <li>– более 10,8 м с крановыми нагрузками</li> </ul>	5 3,5 10 7,5	4,7 3,3 9,5 7	4,5 3,1 9 6,7
<p>То же при шаге колонн до 12 м, высотой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– до 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– более 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– до 10,8 м с крановыми нагрузками</li> <li>– более 10,8 м с крановыми нагрузками</li> </ul>	3,5 2,5 7,5 5	3,3 2,3 7 4,7	3,1 2,2 6,7 4,5
<p>Одноэтажные производственные здания среднего типа из сборочного железобетона при шаге колонн до 6 м, высотой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– до 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– более 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– до 10,8 м с крановыми нагрузками</li> <li>– более 10,8 м с крановыми нагрузками</li> </ul>	10 7,5 15 12,5	9,5 7 14,2 11,8	9 6,7 13,5 11,2
<p>То же при шаге колонн до 12 м, высотой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– до 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– более 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– до 10,8 м с крановыми нагрузками</li> <li>– более 10,8 м с крановыми нагрузками</li> </ul>	5 3,5 10 7,5	4,7 3,3 9,5 7	4,5 3,1 9 6,7
<p>Одноэтажные производственные здания тяжелого типа из металла при шаге колонн до 6 м, высотой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– до 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– более 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– до 10,8 м с крановыми нагрузками</li> <li>– более 10,8 м с крановыми нагрузками</li> </ul>	15 12,5 30 22,5	14,2 11 28,5 21,3	13,5 10,5 27 20,2
<p>То же при шаге колонн до 12 м, высотой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– до 10,8 м без крановых нагрузок</li> <li>– более 10,8 м без крановых нагрузок</li> </ul>	12,5 10	11,8 9,5	11,2 9

– до 10,8 м с крановыми нагрузками	20	19	18
– более 10,8 м с крановыми нагрузками	15	14,2	13,5
Многоэтажные промышленные здания: со сборным железобетонным каркасом и самонесущими стенами с сеткой колонн 6×6 м	20	19	18
то же 6×9 м	15	14,2	13,5
со сборным железобетонным каркасом и навесными панелями с сеткой колонн 6×6 м	15	4,2	13,5
то же 6×9 м	11,5	11	10
рамной конструкции в двух направлениях с безбалочным покрытием с сеткой колонн 6×6 м	25	23,7	22,5
то же 6×9 м			
Кирпичные одноэтажные здания с толщиной стенок:			
– до 51 см	10	9,5	9
– до 64 см	12,5	11	10,5
Фермы, плиты, балки покрытий и перекрытий	10	9,5	9
Самонесущие стеновые панели, перегородки	7,5	7,1	6,7
<p>ПРИМЕЧАНИЕ. К зданиям легкого типа относят здания с пролетами до 18 м, высотой до нижнего пояса стропильных ферм 10 ... 15 м, с мостовыми кранами грузоподъемностью до 30 т, а также здания с подвесными кранами и без кранов. Здания среднего типа строят полностью из металла, либо с применением сборных железобетонных колонн, и они имеют пролет до 30 м, высоту до 20 м, мостовые краны грузоподъемностью до 100 т. К зданиям тяжелого типа относят цехи с пролетами 36 м и более, высотой до 25 ... 30 м, с мостовыми кранами грузоподъемностью до 400 т каркас таких зданий делают только из стали</p>			

Таблица 22 – Значения  $k_{ГР}$  зависимости от вида конструкции и класса взрывоустойчивости

Конструкции	Класс взрывоустойчивости				
	I	II	III	IV	V
Плиты, балки перекрытий и покрытий, несущие и самонесущие стеновые панели, перегородки	1,10	1,15	1,20	1,25	1,50
Фермы, главные балки перекрытий и покрытий	1,15	1,20	1,25	1,30	1,40
Колонны, несущие стены	1,20	1,25	1,30	1,40	1,50

5. Определение нагрузок, разрушающих остекление. Расчетная нагрузка, разрушающая листовое оконное стекло, кПа,

$$p_{p.ст} = p_{ст}y$$

где  $p_{ст}$  – нагрузка, при которой разрушается листовое оконное стекло (при одинарном остеклении) с соотношением сторон листа 1:1 (таблица 23);

$y$  – коэффициент условий работы, см. далее.

Толщина стекла	$y$	Толщина стекла	$y$
1 :1	1	1: 1,75	1,16
1:1,33	1,04	1: 2	1,25
1:1,5	1,08	1: 3	1,38

Таблица 23 – Нагрузки, разрушающие стекло

Толщина стекла, мм	Нагрузка, кПа, при помощи одного листа стекла, $M^2$					
	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2
3	4	3	2,1	1,5	1,2	1
4	-	-	3,2	2,6	2,0	1,5
5	-	-	-	4,0	3,2	2,5

Разрушающую стекло нагрузку при промежуточных значениях площади одного листа следует определять интерполяцией приведенных ранее значений. Если в качестве легкоразрушаемого элемента конструкции, применяющегося для обеспечения сохранности здания при взрыве) используют двойное остекление, то разрушающую его нагрузку  $p_{p.ст2}$  увеличивают, рассчитывая ее по формуле

$$p_{p.ст}^2 = 1,15p_{п.ст}$$



## Практическое занятие №13

### Обеспечение безопасности земляных работ

#### Введение

*Основная причина травматизма на земляных работах* – обрушение грунта в процессе его разработки и при последующих работах нулевого цикла (устройство фундаментов, укладка труб и другие) в траншеях и котлованах.

Обрушение грунта может произойти вследствие: превышения нормативной глубины разработки выемок без креплений; неправильного устройства или недостаточной устойчивости и прочности креплений стенок траншей и котлованов, нарушения правил их разборки; разработки траншей и котлованов с недостаточно устойчивыми откосами; возникновения неожиданных нагрузок (статических и динамических) от строительных материалов, конструкций, землеройных и транспортных машин; нарушения технологии производства земляных работ; устройства водоотвода с нарушением технических требований и без учета геологических условий.

При производстве земляных работ травмы могут произойти в результате отсутствия или неправильного устройства в необходимых местах защитных ограждений, несоблюдения правил ведения работ вблизи электрокабелей и других подземных коммуникаций. Случаи травматизма возможны при эксплуатации строительных машин и механизмов, используемых на земляных работах. Они могут произойти из-за недостаточной квалификации рабочих, управляющих машинами; неисправного состояния машин и технологической оснастки; самопроизвольного перемещения машин и их подвижных частей; потери машинами устойчивости в результате воздействия различных факторов.

Наиболее часты обрушения лессовидных грунтов. Они, отличаясь высокой прочностью в сухом состоянии, теряют связность между отдельными частицами при увлажнении, в результате чего незакрепленные стенки траншей и котлованов обрушаются. Поэтому большая прочность этих грунтов в сухом состоянии не может служить основанием для того, чтобы оставлять стенки вертикальными, а откосы крутыми.

При разработке мерзлых грунтов обрушения стенок котлованов и траншей происходят из-за перемены температуры, оттепелей, которые нарушают прочность грунта.

Несмотря на высокий уровень механизации земляных работ, выполнение их сопряжено с опасностями, которые приводят к травмам с тяжелыми последствиями. Поэтому профилактике травматизма на земляных работах уделяют серьезное внимание.

### 13.1 Порядок проверки уступов и откосов выемок на устойчивость

Допустимая крутизна откосов в зависимости, от глубины траншей и котлованов, согласно СНиП III-4 – 80, приведена в таблице 24. Если ее не соблюдать, возможно обрушение грунта. При глубине более 5 м крутизну откосов устанавливают специальным расчетом, который приводится в технологической карте на производство земляных работ.

Таблица 24 – Допустимая крутизна откосов в зависимости от глубины траншей и котлованов

Грунты	Глубина выемки в м, не более		
	1,5	3	5
Насыпные неуплотненные	1 : 0,67	1 : 1	1 : 1,25
Песчаные и гравийные	1 : 0,5	1 : 1	1 : 1
Супесь	1 : 0,25	1 : 0,67	1 : 0,85
Суглинок	1 : 0	1 : 0,5	1 : 0,75
Глина	1 : 0	1 : 0,25	1 : 0,5
Лессы и лесовидные	1 : 0	1 : 0,5	1 : 0,5

Основные параметры открытой разработки грунта в котлованах и карьерах: высота уступа и ширина бермы; форма уступа (плоская, ломаная, криволинейная, ступенчатая); угол откоса (крутизна). Выбор высоты уступа влияет на эффективность и безопасность производства земляных работ. По условиям безопасности разрабатываемые грунты можно разделить на три категории: несвязные (песок и др.), связные (суглинки, глины и др.) и лессовые. В несвязных грунтах откосы земляных сооружений устраивают с углами

естественного откоса  $\varphi$ . В связных грунтах эта задача решается специальным расчетом. Устойчивость откосов лессовых грунтов определяется их влажностью.

Порядок проверки (расчета) уступов на устойчивость рассмотрим для условий работы в связных грунтах (суглинках и супесях). Аналитическую зависимость между высотой уступа и состоянием предельного равновесия грунта откоса можно установить по теории устойчивости горных пород второй категории. Геометрические элементы такого уступа показаны на рисунке 17.

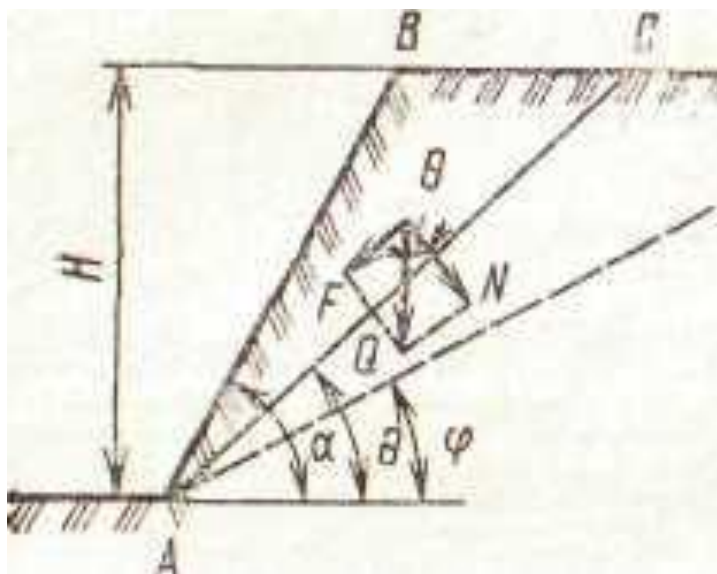


Рисунок 17 – Геометрические элементы уступа.

$H$  – высота уступа;  $\Theta$  – угол предельного равновесия откоса;  
 $\alpha$  – угол между плоскостью обрушения и горизонтом ( $ABC$  – призма обрушения);  $\varphi$  – угол естественного откоса

Можно считать, что в момент предельного равновесия (призма  $ABC$  не обрушилась, но может обрушиться) составляющая массы призмы в плоскости  $AC$  будет  $F = Q \sin \Theta$ . Эта сила уравновешена силой сцепления  $c \cdot (AC)$  и силой трения, равной  $N \operatorname{tg} \varphi = Q \cos \Theta \operatorname{tg} \varphi$ , то есть  $Q \sin \Theta = c \cdot (AC) + Q \cos \Theta \operatorname{tg} \varphi$ . Тогда сила сцепления в плоскости  $AC$

$$C = \frac{Q \sin \Theta - Q \cos \Theta \operatorname{tg} \varphi}{AC \cos \varphi} = \frac{Q \sin(\Theta - \varphi)}{AC \cos \varphi}$$

Масса призмы  $ABC$  длиной 1 м составит

$$Q = \gamma \frac{AB \cdot AC}{2} \sin(\alpha - \Theta)$$

Введем некоторые обозначения ( $k = c/\gamma$  — коэффициент сцепления,  $AB = H \cdot \sin\alpha$ ) и получим

$$k = \frac{H \sin(\alpha - \Theta) \sin(\Theta - \varphi)}{2 \sin \alpha \cos \varphi},$$

Отсюда, заменив  $k$  на  $k_{\max}$ , получим выражение для высоты уступа

$$H = \frac{2k_{\max} \sin \alpha \cos \varphi}{\sin(\alpha - \Theta) \sin(\Theta - \varphi)}$$

Для вертикальных стенок ( $\alpha=90^\circ$ ) предельная высота

$$H_0 = \frac{2k_{\max} \cos \varphi}{\sin(90^\circ - \Theta) \sin(\Theta - \varphi)}$$

Для реальных условий производства земляных работ в последние две формулы вводят поправки

$$k = \frac{c}{\gamma m} \quad \text{и} \quad \varphi' = \arctg \frac{\text{tg} \varphi}{m}$$

где  $c$  — сила сцепления (принимается по справочным данным);

$\gamma$  — плотность грунта;

$m$  — коэффициент устойчивости, равный 1,5.. 3;

$\text{tg} \varphi$  — коэффициент трения.

Тогда

$$H = \frac{2k_{\max} \sin \alpha \cos \varphi}{\sin^2\left(\frac{\alpha - \varphi'}{2}\right)}$$

Такой расчет справедлив для условий сельского строительства, когда глубина котлованов и траншей не превышает 5 м. Для редких случаев большей глубины обрушение откоса происходит по криволинейной поверхности, поэтому необходимо пользоваться методом цилиндрических поверхностей.

Рассмотренный метод позволяет проверять устойчивость уступов в самых

разнообразных реальных условиях. Например, при ограниченном угле откоса необходимо определить максимальную глубину разработки, при которой будет обеспечена устойчивость.

Нарушение устойчивости земляных масс часто приводит к разрушению важных инженерных сооружений, а иногда и человеческим жертвам. Поэтому наряду с проверкой уступов на устойчивость необходимы организационно-технические мероприятия: усиление естественных упоров оползающих масс, крепление котлованов и траншей, регулирование водного режима грунтовых масс, уменьшение нагрузок и .т.д.

### **13.2 Обеспечение устойчивости вертикальных стенок котлованов и траншей**

Безопасную глубину разработки котлованов и траншей с вертикальными стенками без креплений в зависимости от вида грунта устанавливает СНиП-4 – 80. Для других условий разработки грунта необходимо устраивать соответствующие крепления вертикальных стенок. По конструктивному решению они бывают распорными, анкерными, подкосными и шпунтовыми (рисунок 18, 19, 20, 21).

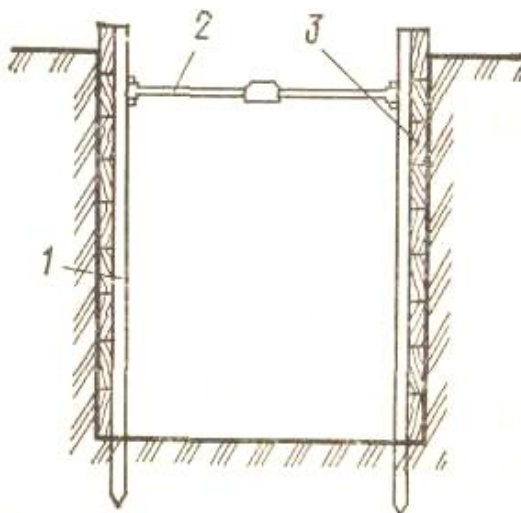


Рисунок 18 – Распорное крепление:

1 – стойка; 2 – распорка; 3 – инвентарный щит. 4 — подкос.

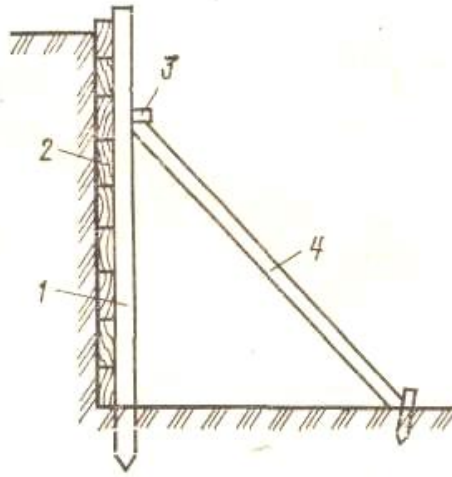


Рисунок 19 – Подкосное крепление:

1 – стойка; 2 – крепежные доски; 3 – упор; 4 – подкос.

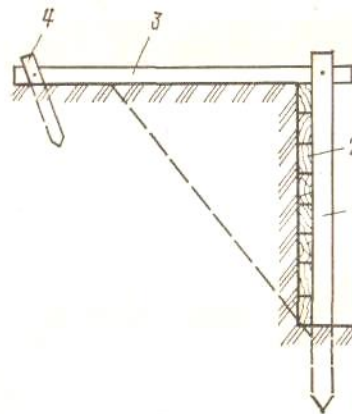


Рисунок 20 – Анкерное крепление:

1 – стойка; 2 – крепежные доски; 3 – стяжка; 4 – анкер.

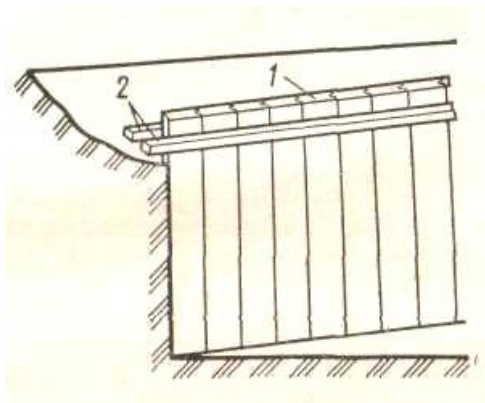


Рисунок 21 – Шпунтовое крепление:

1 – деревянный шпунт; 2 – прогоны

Для выемок глубиной до 3 м применяют, как правило, инвентарные крепления, которые выполняют по типовым проектам в соответствии с областью их использования (таблица 25).

Таблица 25 – Условия применения инвентарных креплений

Крепления	Размеры траншеи, м		Условия целесообразного применения
	глубина Н	ширина В	
Деревянные щиты с мегаллическими подвижными распорками	до 2	0,8.. 1	Сравнительно постоянная глубина траншеи
Инвентарные ЦНИИОМТП	до 4	до 2	Послойная засыпка и уплотнение грунта
Инвентарные Мосподземстроя	до 2	0,8.. 1	Малые и рассредоточенные объемы работ
Инвентарные треста «Южспецстрой»	2	0,76... 2	Укладка трубопровода отдельными трубами на участках небольшой протяженности
Передвижные металлические системы Солодова	3	1..1,2	Спланированная поверхность земли по краям траншеи
Инвентарные ВНИИГС	2...4	0,6... 1,5	Песчаные грунты

При отсутствии инвентарных и типовых деталей для крепления грунтов естественной влажности используют доски толщиной не менее 4 см, а для грунтов песчаных и повышенной влажности — не менее 5 см, закладывая их за вертикальные стойки с распорками. Все элементы неинвентарных креплений подлежат специальному расчету.

Исходные данные для расчета креплений: плотность грунта  $\gamma$ , степень его насыщения водой  $W$ , угол внутреннего трения  $\phi$ , расчетное сопротивление древесины  $R$  (изгиб, растяжение вдоль волокон, сжатие и смятие, местное смятие поперек волокон, скалывание вдоль волокон).

В качестве внешней нагрузки на элементы неинвентарных креплений принимают активное давление грунта  $\sigma_{АКТ}$ , определяемое по формуле

$$\sigma_{АКТ} = H\gamma g(45^\circ - \phi/2) - 2ctg(45^\circ - \phi/2)$$

где  $c$  – сцепление грунта.

Для несвязных грунтов

$$\sigma_{АКТ} = H\gamma g(45^\circ - \phi/2)$$

1. Расчет распорного крепления:

а) определяют шаг стоек (пролет досок)

$$l = 15,3\delta / \sqrt{\sigma_{AKT}}$$

где  $\delta$  – заданная толщина доски;

б) диаметр стойки

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\max}}{0,1[\sigma]}}$$

$$M_{\max} = \frac{qh^2}{8}$$

где  $h$  – расстояние по вертикали между распорками;

в) диаметр распорки по усилию

$$N = \frac{\sigma_{AKT} lH}{2n}$$

где  $H$  – глубина траншеи;  $n$  – число распорок в шаге  $l$ ;

$$d = \sqrt{\frac{4N}{\pi R_c}}$$

2. Расчет подносного крепления: определяют при заданном диаметре стойки, диаметр подкоса, исходя из действующего на него усилия

$$S_{\max} = \frac{\sigma_{AKT} Hl}{4} 5_{\text{шах}} = K_{\text{,ТЯ0}}/4.$$

3. Расчет анкерного крепления: при заданном диаметре стойки находят диаметр затяжки по максимальному усилию

$$N_{\max} = \frac{\sigma_{AKT} lH}{2}$$

$$\frac{N_{\max}}{F} \leq R_p$$



где  $R_p$  – расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон

4. Расчет шпунтовых стен: определяют требуемую глубину забивки шпунта  $h$  из условия прочности по уравнению

$$P = \frac{mh^3}{[6(4H + 3h)]}$$

где  $P$  – расчетное значение горизонтальной силы, действующей на участок шпунтовой стены длиной 1 см;

$H$  – высота котлована.

Сечение шпунта определяют из выражения

$$\frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma]$$

При расчете элементов креплений на прочность и устойчивость используют выражения

$$\frac{N}{F} \leq R_c, \quad \frac{N}{\phi F_{\text{расч}}} \leq R_c$$

где  $R_c$  – расчетное сопротивление сжатию;

$\phi$  – коэффициент продольного изгиба центрально-сжатых элементов, зависящий от гибкости  $\lambda$ .

Применение инвентарных креплений предусматривает сборность элементов, возможность их установки сверху, а также механизацию работ по установке и разборке щитов. Указанные преимущества позволяют создать безопасные условия работы в траншеях, значительно уменьшить трудозатраты, обеспечить многократную оборачиваемость крепежного инвентаря и в конечном счете снизить стоимость строительства. Исходя из этого, более эффективны инвентарные крепления системы ЦНИИОМТП, ВНИИГС, трестов «Южспецстрой» и «Трансводстрой» (рисунки 22 и 23).

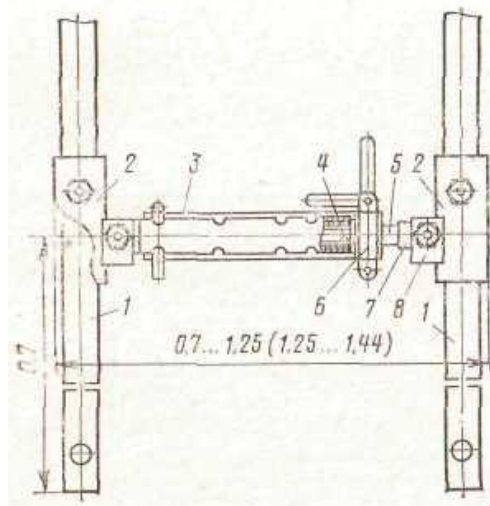


Рисунок 22 – Инвентарное траншейное крепление системы НИИОМТП:

1 – трубчатые стойки; 2 – муфты; 3 – удлиненная вставка распорки;  
4 – металлический винт; 5 – гильза; 6 – скоба; 7 – втулка; 8 – гайка.

(Размеры в м.)

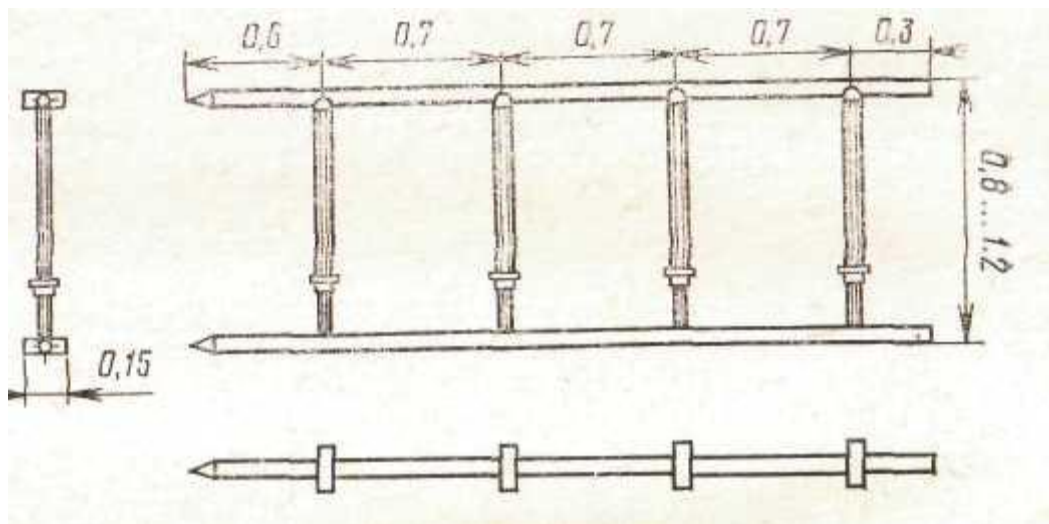


Рисунок 23 – Инвентарное траншейное крепление системы треста «Трансводстрой». (Размеры в м.)

За состоянием креплений необходимо вести систематическое наблюдение. С наступлением морозов или оттепелей их нужно ежедневно проверять и заносить результаты проверок в журнал производства работ. При необходимости осуществляют усиление элементов креплений.

Дощатые крепления траншей и котлованов в устойчивых грунтах разбирают в направлении снизу вверх по мере обратной засыпки грунта, удаляя одновременно не более 3 досок, а в сыпучих и неустойчивых грунтах – не более одной доски. Разборку креплений ведут под наблюдением прораба или мастера

## **Практическое занятие №14**

### **Обеспечение безопасности строительных машин**

#### **Ведение**

В число строительных машин в ходят подъемно-транспортные машины.

Подъемно-транспортные средства издавна применялись как вспомогательное оборудование. Начало производства отечественных подъемно-транспортных машин относится к 1900 г., когда впервые были построены краны на Брянском, Краматорском и Путиловском заводах. В 1913 г. годовой выпуск кранов на Брянском и Краматорском заводах составлял 70 шт., что не могло удовлетворить запросы развивающейся промышленности. Большая часть машин ввозилась из-за границы и изготовлялась на российских заводах, принадлежавших иностранцам. Исключением явился основанный в 1899 г. в Москве небольшой завод «Товарищества по изготовлению подъемных сооружений», специализировавшийся на изготовлении мостовых и стационарных поворотных кранов, а также лифтов. Завод под названием «Московский завод подъемных сооружений», а затем «Подъемник» действовал как краностроительный до 1960 г.

Безопасная эксплуатация грузоподъемных машин основывается на выполнении требований:

- нормативных и руководящих документов Госгортехнадзора;
- организаций, которые занимаются проектированием, изготовлением, монтажом, реконструкцией и ремонтом грузоподъемных машин;
- к устройству и установке грузоподъемных машин (узлы, детали, крановые механизмы, приборы и устройства безопасности, металлоконструкции, рельсовые крановые пути);
- к организации эксплуатации грузоподъемных машин (получение лицензии, регистрация, разрешение на пуск в работу, техническое освидетельствование);
- системы планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта грузоподъемных машин;

- системы надзора и обслуживания (инспекции Госгортехнадзора, ИТР по надзору за безопасной эксплуатацией ГПМ; ИТР, ответственные за содержанием ГПМ в исправном состоянии; лица, ответственные за безопасное производство работ с грузоподъемными машинами, их обязанности и права, система обучения и проверки знаний);

- к безопасному производству работ с грузами (технологические карты, планово-предупредительные работы).

Выполнение этих требований позволяет обеспечить:

- применение грузоподъемных машин в соответствии со своим назначением и режимами работы;

- безопасные условия для жизни и здоровья людей в процессе эксплуатации грузоподъемных машин;

- защиту грузоподъемных машин и людей от неблагоприятных воздействий с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций;

выполнение экологических требований при эксплуатации грузоподъемных машин, рациональное использование материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов

Основные типы грузоподъемных кранов представлены на рисунке 24.

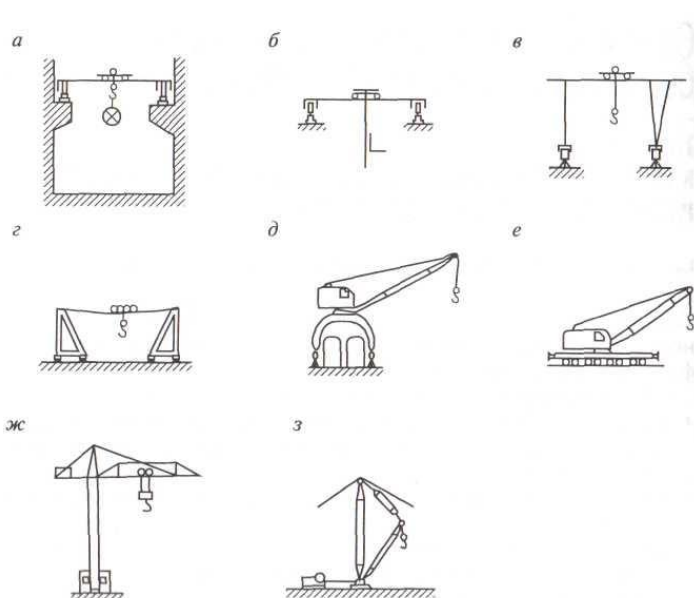


Рисунок 24 – Классификация грузоподъемных кранов по конструктивному исполнению:

а – кран мостовой опорный; б – кран-штабелер мостовой; в – кран козловой; г – кран кабельного типа; д – кран порталный; е – кран стрелового типа желе подорожный; ж – кран башенный; з – кран мачтовый вантовый

## **14.1 Обеспечение устойчивости строительных машин и механизмов в процессе эксплуатации**

Потеря устойчивости строительных машин, особенно кранов, приводит, как правило, к серьезным авариям, в результате которых могут быть значительные материальные потери и тяжелые травмы. Грузоподъемные краны относятся к машинам повышенной опасности, поэтому к их устойчивости предъявляются специальные требования. Причинами потери устойчивости могут быть: перегрузка кранов; воздействие ветровой нагрузки, превышающей расчетную; неудовлетворительное состояние основания (рельсовых путей), когда происходят недопустимые просадки под опорами; динамические воздействия вследствие резкого торможения или обрыва стальных канатов; поломки основных сборочных единиц и механизмов и другие. Возможны также комбинации указанных причин, а также влияние условий эксплуатации машин.

Методы теоретической механики устанавливают, что твердое тело может находиться в равновесии, то есть быть устойчивым, если сумма моментов всех действующих на него сил (внешних и внутренних) относительно возможной опоры опрокидывания (точки поворота) будет равна нулю. Следовательно, сумма моментов сил, удерживающих тело, и сумма моментов сил, опрокидывающих его, относительно одной и той же точки должны быть равны. В этом случае тело будет устойчиво. Это положение при определенных условиях справедливо и для строительных машин.

При работе землеройных машин опрокидывающий момент создается силой реакции грунта на режущую грань рабочего органа, а также массой рабочего органа и грунта. Дополнительный момент могут создавать динамические нагрузки, а также уклон основания в сторону возможного опрокидывания и ветровая нагрузка. Для грузоподъемного крана такими силами являются масса поднимаемого груза, ветровая нагрузка, силы инерции масс груза и машины при ее движении, силы от уклона пути и др. Удерживающий, или восстанавливающий, момент создают силы от массы машины и противовеса. Следует также иметь в виду силы, обусловленные деформацией самой конструкции машины и основания. Однако их можно не учитывать, если

их значения невелики, то есть допускается рассматривать, например, конструкцию крана как абсолютно жесткую.

Для обеспечения устойчивости машин следует создавать некоторое превышение момента удерживающих сил над моментом опрокидывающих сил, то есть принимать коэффициент запаса устойчивости. Это необходимо потому, что невозможно полностью учесть все дополнительные нагрузки, так как они изменяются во времени в зависимости от конкретных условий эксплуатации машин. Так, моменты опрокидывающих сил могут возрасти при появлении продольного или поперечного уклона подкранового пути, неравномерных деформациях основания под стреловым краном, изменении направления ветра. Действие инерционных сил в некоторых случаях может вызвать падение крана и других машин в момент принудительной остановки.

Правила устройства и безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов (Госгортехнадзор) нормируют значения коэффициента устойчивости крана  $K_y$  в зависимости от условий его эксплуатации:  $K_y = \Sigma M_{уд} / \Sigma M_{опр}$ . При этом рассматривают три схемы работы крана:

► коэффициент грузовой устойчивости на горизонтальном пути без дополнительных нагрузок (рисунок 25, а;  $K_{г.у} \geq 1,4$ );

► коэффициент грузовой устойчивости с учетом действия дополнительных нагрузок — ветра, снега, инерционных сил и уклона пути (рисунок . 25, б;  $K_{г.у} \geq 1,5$ );

► коэффициент собственной устойчивости под действием ветра и с учетом уклона пути (рисунок 25, в;  $K_{г.у} \geq 1,15$ ); ).

Нормативную ветровую нагрузки  $q_B$  (Па) на поверхность сооружения (башни крана) или его часть определяют по формуле

$$q_B = q_0 c$$

где  $q_0$  — нормативный скоростной напор, Па;

$c$  — аэродинамический коэффициент. Для вертикальных поверхностей, отклоняющихся от вертикали не более чем на  $30^\circ$ , этот коэффициент равен 0,8 с наветренной стороны и 0,6 — с подветренной.

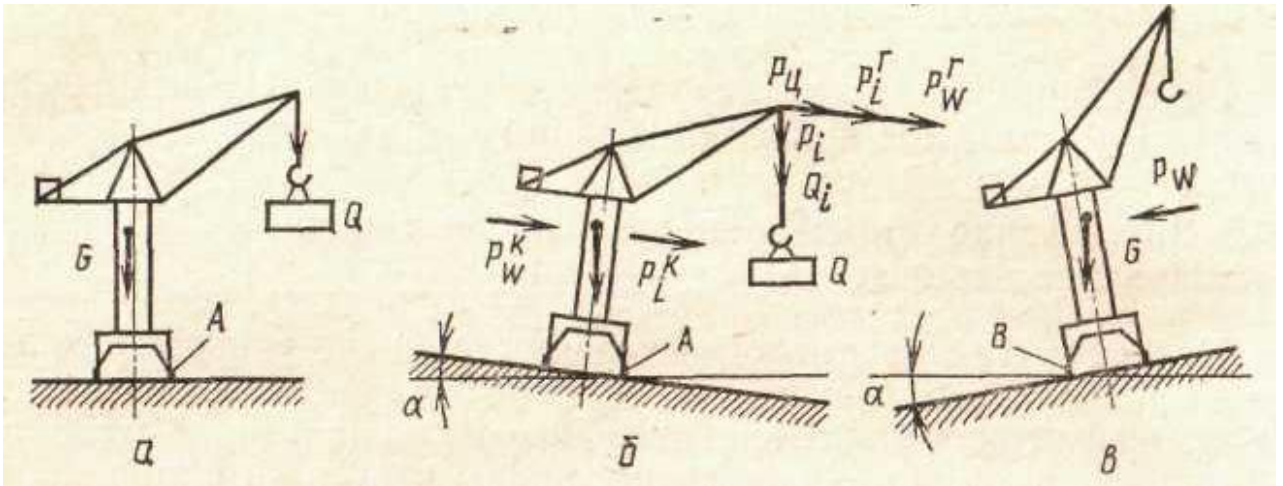


Рисунок 25 – Расчетные схемы нагрузок для определения коэффициентов устойчивости крана

Учитывая то, что в процессе перемещения крана его конструкции испытывают динамические воздействия, нагрузки от собственной массы не являются постоянными. Поэтому постоянную нагрузку от собственной массы конструкций принимают

$$q_{РАСЧ} = K_{П}q$$

где  $K_{П}$  — поправочный коэффициент, равный: при скорости движения крана до 60 м/мин – 1,1; при скорости от 60 до 120 м/мин – ,2 и при скорости более 120 м/мин – 1,3;

$q$  – равномерно распределенная нагрузка от собственной массы металлоконструкций.

Силы инерции, возникающие при подъеме и опускании груза, учитывают коэффициентом динамичности  $K_{д}$ , который зависит от режима работы крана ( $K_{д}$  принимают от 1,1 до 1,3).

Расчетные схемы проверки крана на устойчивость приведены на рисунке 25 (а, б, в). В случае работы крана без дополнительных нагрузок (рисунок 25, а) опрокидывающий момент создает максимальный груз  $Q$  при максимальном вылете крюка, а удерживает кран его вес  $G$ , приложенный в точке центра тяжести крана. При этом в случае опрокидывания кран будет поворачиваться вокруг точки  $A$  по часовой стрелке. Для такой схемы высота расположения центра тяжести

крана не играет роли, так как нагрузка от его веса совпадает с осью крана. В современных кранах центр тяжести обычно находится на высоте 1,5...3 баз крана (расстояние между колесами ходовой части) от головки рельса.

Схема работы крана на горизонтальной площадке без дополнительных нагрузок является идеальной. В действительности при работе крана создаются неблагоприятные условия и возникают различные комбинации дополнительных нагрузок (рисунок 25,6): сила давления ветра на подветренную площадь крана  $P_w^K$ ; сила давления ветра на подветренную часть груза  $P_w^Г$ ; сила инерции массы груза, возникающая при пуске или торможении механизма подъема груза,  $P_w^Г$  центробежная сила массы груза, возникающая при вращении поворотной части крана,  $P_1$ ; инерционная сила массы груза, возникающая при пуске или торможении механизма передвижения крана,  $P_{Ц}$ ; инерционная сила массы крана, возникающая при пуске или торможении механизма передвижения крана,  $P_1^Г$ ; дополнительные силы, вызванные уклоном пути, увеличивающие опрокидывающий момент. Все эти силы учитывают при определении коэффициента грузовой устойчивости крана при работе его с дополнительными нагрузками

$$K_{Г.У} = \frac{M_{уд} - (M_w^K + M_w^Г + M_1 + M_{Ц} + M_1^Г + M_1^K)}{M_{ОПР}}$$

Моменты всех сил определяют относительно точки А, то есть ребра опрокидывания.

Потеря устойчивости и опрокидывание крана может также произойти в нерабочем состоянии, то есть без нагрузки, если стрела предельно поднята вверх и расположена перпендикулярно ребру опрокидывания, уклон пути направлен в сторону опрокидывания и действует ветровая нагрузка. Поворот крана при потере собственной устойчивости происходит вокруг точки В (рисунок 25,в).

На дополнительные моменты от уклона существенно влияет высота



расположения центра тяжести крана по отношению к рельсовому пути. В современных кранах центр тяжести стремятся расположить как можно ниже. Для этого контргруз, как правило, размещают на платформе крана, что повышает его устойчивость.

Вопрос устойчивости важен для самоходных стреловых кранов (гусеничных и пневмоколесных). Для них обычно рассматривают лишь поперечную устойчивость, то есть такой случай, когда стрела с грузом расположена перпендикулярно гусеничному (колесному) ходу.

Допускаемый уклон основания в сторону груза зависит от несущей способности поверхности грунта и положения центра тяжести машины. Несущая способность грунта для конкретной машины соответствует максимальному давлению на грунт ( $P_a$ ) и определяется по выражению

$$q_0 = 9,81 \frac{R}{3b(l/2 - c)}$$

где  $R$  – равнодействующая всех вертикальных сил, Н;

$b$  – ширина гусеничного (колесного) хода, м;

$l$  – длина гусеницы (колеса), м;

$c$  – расстояние центра тяжести от оси вращения, м.

Устойчивость мачтовых подъемников, применяемых для подачи материалов и монтажа конструкций, достигается предварительным натяжением расчалок или вант при помощи лебедок и полиспастов.

Конструктивные решения обеспечивающие безопасную работу башенных кранов показаны на рисунке 26.

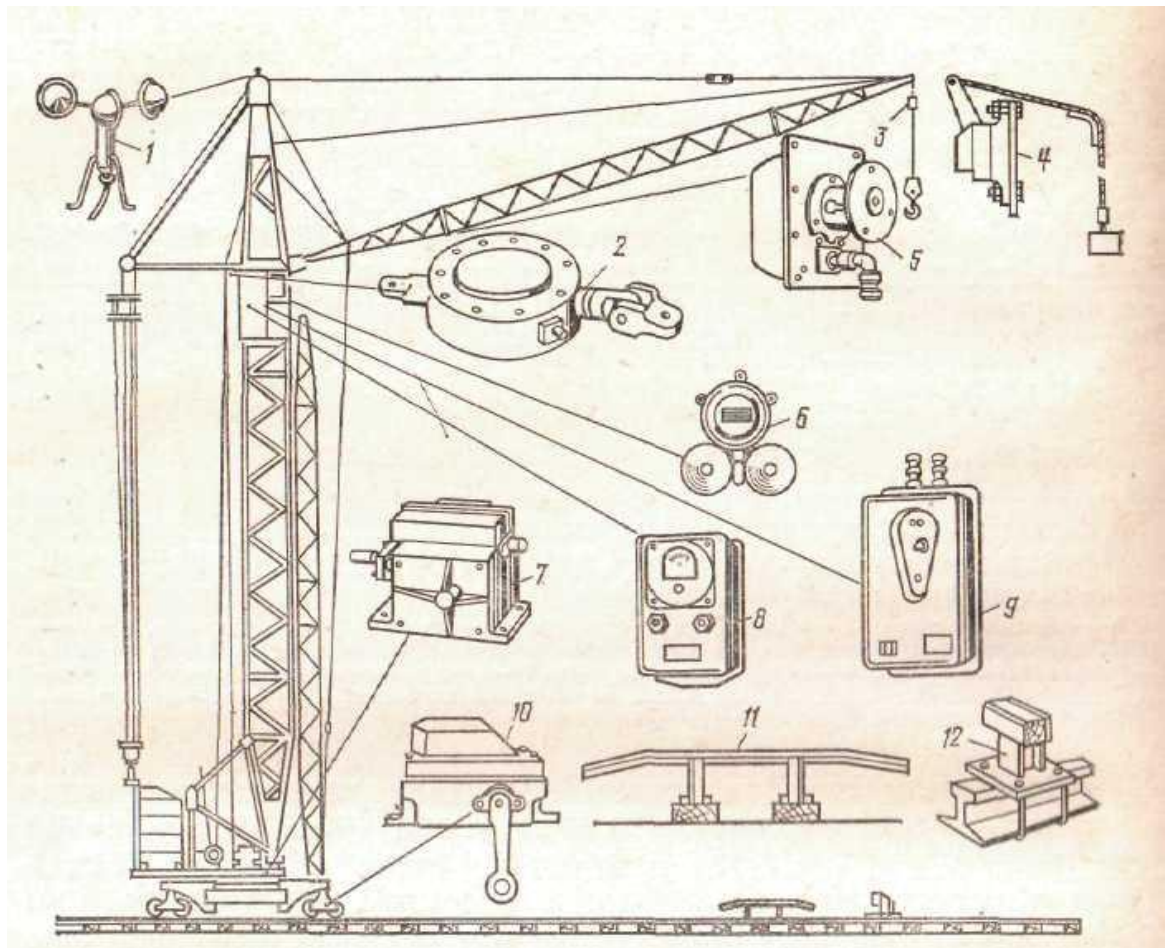


Рисунок 26 – Приборы и устройства, обеспечивающие безопасную работу башенного крана:

- 1 – анемометр типа М-95; 2 – ограничитель грузоподъемности типа ОГП-1; 3, 4 – ограничитель высоты подъема крюка; 5 – ограничитель поворота стрелы; 6 – звуковой сигнал; 7 – ограничитель поворота крана; 8, 9 – приборы блокировки и сигнализации в кабине управления краном; 10, 11, 12 – ограничитель передвижения крана.

## Литература

1 Белов С.В., Ильницкая А.В., Козьяков А.Ф. и др. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов /С.В.Белов, А.В. Ильницкая , А.Ф. Козьяков и др. Под общ. ред. С.В. Белова. 2 – е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.

2 Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве (охрана труда): Учебник для вузов. – СПб.: Издательство «Лань», 2006. – 512 с.

3 Васильев П.П. Практикум по безопасности жизнедеятельности человека, экологии и охране труда . – М.: Финансы и статистика, 2004. – 189 с.

4 Васильев П.П. Безопасность жизнедеятельности . – М.: ЮНИТИ, 2003. – 188 с.

5 Зотов Б.И., Курдюмов В.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве /Б.И. Зотов, В.И. Курдюмов. – М.:Колос, 2000. – 423 с.

6 Калыгин В.Г. и др. Безопасность жизнедеятельности. Промышленная и экологическая безопасность, безопасность в техногенных чрезвычайных ситуациях. Курс лекций / В.Г.Калыгин, В.А. Бондарь, Р.Я. Дедиян: под ред. В.Г. Калыгина. – М.: Химия, Колос, 2006. – 520 с.

7 Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность. Учебник /А.А. Раздорожный. – М.: Экзамен, 2005. – 511с.

8 Русин В.И., Орлов Г.Г. Охрана труда в сельском строительстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 288 с.

9 Тайц В.Г. Безопасная эксплуатация грузоподъемных машин: Учебн. Пособие для вузов.-М.- ИКЦ «Академкнига», 2005. -383с.

10 Шкрабак В.С., Луковников А.В., Тургиев А.К. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве / В.С. Шкрабак, А.В. Луковников, А.К. Тургиев . – М.: КолосС, 2002. – 512с.

**Задание №1**

Рассчитать толщину сплошного ограждения защиты работающего в случае разрушения абразивного круга если: масса круга =  $m_K$ , кг; окружная скорость =  $V$ , м/с; диаметр внешней окружности =  $D_B$ , м; диаметр центрального отверстия =  $d$ , м.

№ Вар.	Масса круга, кг	Окружная скорость, м/с	Диаметр внешней окружности, мм	Диаметр центрального отверстия круга, мм
1	5		500	50
2	5,5		600	60
3	6		700	70
4	6,5		800	80
5	7		800	80
6	7,5		700	70
7	8		600	60
8	8,5		500	50
9	9		600	60
10	9,5		700	70
11	10		800	80
12	9,5		900	90
13	9		500	50
14	8,5		600	60
15	8		700	70
16	7,5		800	80
17	7		900	90
18	6,5		1000	100
19	6		700	70
20	5,5		800	80
21	5		900	90
22	6		800	80
23	7		700	80

## Задание №2

Определить толщину сплошного ограждения защиты работающего в случае освобождения детали при разрушении шпинделя фрезерного станка: масса детали =  $m_k$ , кг; окружная скорость =  $V$ , м/с; радиус кривизны =  $r_1$ , м;

№ Вар.	Масса круга, кг	Окружная скорость, м/с	Радиус кривизны мм
1	10		600
2	9,5		500
3	9		600
4	8,5		700
5	8		800
6	7,5		900
7	7		500
8	6,5		600
9	6		700
10	5,5		800
11	5		900
12	6		1000
13	7		700
14	8		800
15	9		600
16	10		500
17	9,5		600
18	9		700
19	8,5		800
20	8		900
21	7,5		500
22	7		600
23	6,5		700
24	6		800

*Учебное издание*

**Христофоров Евгений Николаевич**

**ПРАКТИКУМ  
ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Учебное пособие**

**Редактор:** Павлютина И.П.

---

Лицензия № 020880 от 26.05.1999 г. Подписано к печати 25.11.2015 г.  
Формат 60×84. Бумага офсетная Усл. п.л. 6,39. Тираж 100. Изд.3950.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета,  
с. Кокино, Выгоничского района Брянской области