

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Донской государственный технический университет»

РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

КУРС ЛЕКЦИЙ

2016

Список литературы

1. Безопасность жизнедеятельности: учебник / под ред. В.А. Трефилова. – М.: Academia, 2011.
2. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование : справочник / С.В. Белов [и др.] ; под ред. С. В. Белова .— М. : Машиностроение, 1989 . — 365 с.

Содержание дисциплины

Тема 1. Общие принципы построения систем защиты.

Методы и модели системы защиты.

Тема 2. Расчёт и проектирование систем механического оборудования.

Тема 3. Расчёт и проектирование защиты от шума.

Тема 4. Расчёт и проектирование защиты от вибрации.

Тема 5. Расчёт и проектирование систем защиты от электромагнитных полей.

Тема 6. Расчёт и проектирование систем защиты от производственной пыли и химических веществ.

Тема 7. Расчёт и проектирование систем защиты от пожара.
Расчетно-графическая работа (38 часов).

Практические занятия

1. Расчёт и проектирование предохранительных клапанов.
2. Расчёт и проектирование ограничителей грузоподъёмности кранов.
3. Расчёт и проектирование опор грузоподъёмных кранов.
4. Расчёт и проектирование шумоизолирующих экранов.
5. Расчёт и проектирование систем шумоотражения.
6. Расчёт и проектирование систем виброизоляции.
7. Расчёт и проектирование систем демпфирования.
8. Расчёт и проектирование систем защиты от ЭМП.
9. Расчёт и проектирование защиты от ионизирующего излучения.
10. Расчёт и проектирование систем естественной вентиляции.
11. Расчёт и проектирование систем принудительной вентиляции.
12. Расчёт и проектирование систем оповещения.
13. Расчёт и проектирование систем автоматического пожаротушения.
14. Расчёт и проектирование систем пожарного водоснабжения.

Тема №1

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ. МЕТОДЫ

Учебные вопросы:

1. Общие принципы построения систем защиты. Виды систем защиты.
2. Модели систем защиты.

Литература:

Безопасность жизнедеятельности: учебник / под ред.
В.А. Трефилова. – М.: Academia, 2011.

1. Общие принципы построения систем защиты. Виды систем защиты

Система защиты – это комплекс технических средств, организационно-технических и организационных мероприятий, не допускающих, предупреждающих воздействие на человека опасных и вредных производственных факторов.

Функции системы защиты на рабочем месте

1. Не допускать проявления мощности источника опасности выше допустимого значения.
2. Предотвращать уменьшение расстояния опасного воздействия меньше допустимого значения.
3. Не допускать времени опасного воздействия больше допустимого.
4. Предотвращать увеличение мощности источника опасности выше допустимого под воздействием других источников опасности.

5. Предотвращать уменьшение расстояния опасного воздействия меньше допустимого вследствие воздействия других источников опасности.
6. Предотвращать увеличение времени опасного воздействия выше допустимого вследствие воздействия других источников опасности.
7. Предотвращать увеличение мощности источника выше допустимого вследствие собственных свойств человека.
8. Предотвращать уменьшение расстояния опасного воздействия меньше допустимого вследствие собственных свойств человека.

9. Предотвращать увеличение времени опасного воздействия больше допустимого вследствие собственных свойств человека.
10. Предотвращать увеличение мощности источника опасности выше допустимого из-за влияния природных факторов.
11. Предотвращать уменьшение расстояния опасного воздействия из-за влияния природных факторов.
12. Предотвращать увеличение времени опасного воздействия из-за природных факторов.

Для технологического процесса дополнительно функциями защиты являются:

13. Предотвратить проявление мощности источника опасности выше допустимого при переходе от одного рабочего места к другому.
14. Предотвратить уменьшение расстояния опасного воздействия меньше допустимого при переходе от одного рабочего места к другому.
15. Предотвратить уменьшение времени опасного воздействия меньше допустимого при переходе от одного рабочего места к другому.

16. Предотвратить возрастание мощности источника опасности выше допустимого вследствие влияния других источников опасности при переходе от одного рабочего места к другому.
17. Предотвратить уменьшение расстояния опасного воздействия меньше допустимого вследствие влияния других источников опасности при переходе от одного рабочего места к другому.
18. Предотвратить увеличение времени опасного воздействия больше допустимого вследствие влияния других источников опасности при переходе от одного рабочего места к другому.

19. Предотвратить увеличение мощности источника опасности выше допустимого вследствие собственных свойств человека при переходе от одного рабочего места к другому.

20. Предотвратить уменьшение расстояния опасного воздействия меньше допустимого вследствие собственных свойств человека при переходе от одного рабочего места к другому.

21. Предотвратить увеличение времени опасного воздействия больше допустимого вследствие собственных свойств человека при переходе от одного рабочего места к другому.

22. Предотвратить изменение параметров источников опасности выше (ниже) допустимых значений вследствие параметров природы при переходе от одного рабочего места к другому.

Организационный вид защиты

1. Обучение руководителей и специалистов.
2. Инструктажи.

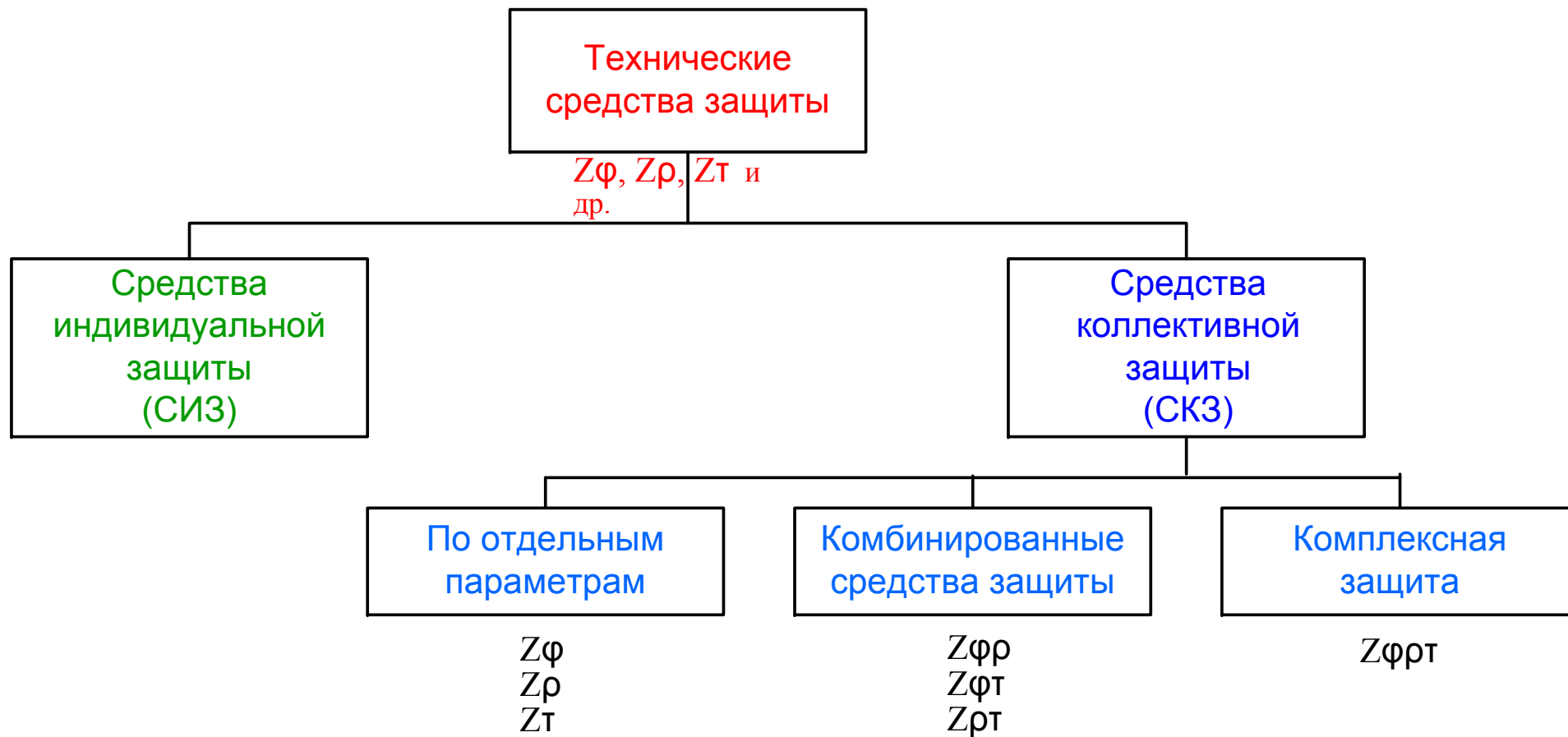
Организационно-технические виды защиты:

$$Z_{S^u}(\varphi(t)), \quad Z_{S^u}(\rho(t)), \quad Z_{S^u}(\tau(t)),$$

напоминание в виде знаков безопасности

$$Z(t) = \frac{C_Z}{\sigma_Z \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-[U_Z - M(U_Z)]^2}{2\sigma_Z^2}} - \lambda_Z t + a_0 e^{bt},$$

контроль и профилактическое обслуживание



Тема №2

РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Учебные вопросы:

1. Общие вопросы проектирования систем защиты от механического оборудования.
2. Расчёт и проектирование предохранительных клапанов оборудования, работающего под давлением.
3. Расчёт и проектирование ограничителей грузоподъёмности кранов.
4. Расчёт и проектирование опор грузоподъёмных кранов.

Список литературы

1. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: справочник / сост. С.В. Белов [и др.]; под ред. С.В. Белова. — М.: Машиностроение, 1989. — 365 с.
2. Лобов Н.А. Динамика грузоподъёмных кранов. — М.: Машиностроение, 1987. — 157 с.

1. Общие вопросы проектирования систем защиты от механического оборудования

Механическая конструкция

Подвижные части машин, станков, оборудования, работающего под давлением, грузоподъёмные механизмы и т.п. характеризуются нагрузкой R и несущей способностью S .

Для их безопасной работы необходимо, чтобы $R < S$.

Причины, по которым $R \geq S$:

- отказ элементов конструкции и перераспределение нагрузки;
- человеческий фактор (превышение давления, подъем груза, превышающего нормативный, в том числе неизвестной массы, ошибки в переключении, разведение огня около сосудов, труб, ёмкостей);
- природные факторы – нагревание солнечной радиацией, раскачивание ветром (ветровая нагрузка) и др.

Для исключения действия причин – система защиты такая, чтобы соблюдалось правило

$$Z_T \cdot R < S.$$

Система защиты в случаях превышения нагрузки свыше номинальной (расчётной, рабочей) должна её снижать до номинальной (расчётной, рабочей). Такой принцип защиты различными способами реализуется на всём механическом оборудовании.

Рассмотрим оборудование, работающее под давлением. Конструкция оборудования и выбор материалов обусловлены расчётами на прочность и устойчивость с соответствующим запасом прочности. Вместе с тем давление газов, пара, жидкостей может превысить расчётное и создать аварийную ситуацию:

$$\varphi(t) > \varphi^{\partial},$$
$$\rho(t) = \text{const.}$$

Если за время τ не уменьшить $\varphi(t)$,

$$\varphi(t) \leq \varphi^{\partial},$$

то произойдёт разрушение сосуда.

2. Расчёт и проектирование предохранительных клапанов оборудования, работающего под давлением

Итак, Z_T есть устройство для уменьшения давления.

Это – предохранительные клапаны.

В основе проектирования лежит расчёт проходного сечения предохранительного клапана.

Исходный пункт – определение давления, при котором предохранительный клапан должен открываться.

Превышение давления над рабочим:

$$\leq 0,5 \text{ кг/см}^2 \quad \text{при} \quad P_{\text{раб}} \leq 3 \text{ кг/см}^2$$

$$15 \% \quad \text{при} \quad P_{\text{раб}} = 3 \dots 60 \text{ кг/см}^2$$

$$10 \% \quad \text{при} \quad P_{\text{раб}} > 60 \text{ кг/см}^2$$

Пропускная способность предохранительного клапана
(в кг)

$$G = 0,00014 \cdot a F_{\text{кд}} B \sqrt{\rho (P_{\text{д}} - P_{\text{р}})},$$

где a – коэффициент расхода жидкости или газа,
определяется исходя из конструкции клапана;

$F_{\text{кд}}$ – площадь сечения, равная наименьшей площади
проточной части, мм²;

$P_{\text{д}}$ – максимальное избыточное давление перед
предохранительным клапаном;

$P_{\text{р}}$ – рабочее давление, до которого должно быть
снижено давление;

B – коэффициент, определяемый из $P_{\text{р}}/P_{\text{д}}$;

ρ – плотность рабочей среды при данной температуре
и давлении.

P_p/P_θ	1	1,135	1,24	1,3	1,4	1,66	2	2,5	3	4	6	10
0	0,429	0,449	0,464	0,472	0,484	0,513	0,544	0,582	0,612	0,659	0,721	0,789
0,16	0,486	0,490	0,506	0,515	0,528	0,559	0,594	0,635	0,668	0,719	0,786	0,861
0,32	0,520	0,545	0,563	0,572	0,587	0,622	0,660	0,706	0,743	0,798	0,860	0,913
0,48	0,594	0,648	0,643	0,654	0,671	0,711	0,753	0,797	0,827	0,867	0,909	0,944

Расчёт времени срабатывания предохранительных клапанов производится при принятии следующих условий:

- движение замыкающего органа равноускоренное;
- начальная скорость замыкающего органа равна 0.

Тогда

$$t = \sqrt{\frac{2m_{\text{КД}} \cdot H_{\text{max}}}{(P_{\partial} - P_{\text{раб}}) \cdot F_{\text{КД}} - R}},$$

$m_{\text{КД}}$ – масса замыкающего органа с присоединёнными деталями, кг;

H_{max} – максимальный ход замыкающего органа, см;

$F_{\text{КД}}$ – площадь проходного сечения клапана, см²;

R – суммарная сила сопротивления движению замыкающего органа, кг;

P_{∂} – давление настройки, кг/см².

При проектировании необходимо время срабатывания и площадь проходного сечения итеративным процессом выравнивать для того, чтобы удовлетворить время сброса давления, не превышающего время роста давления сверх допустимого.

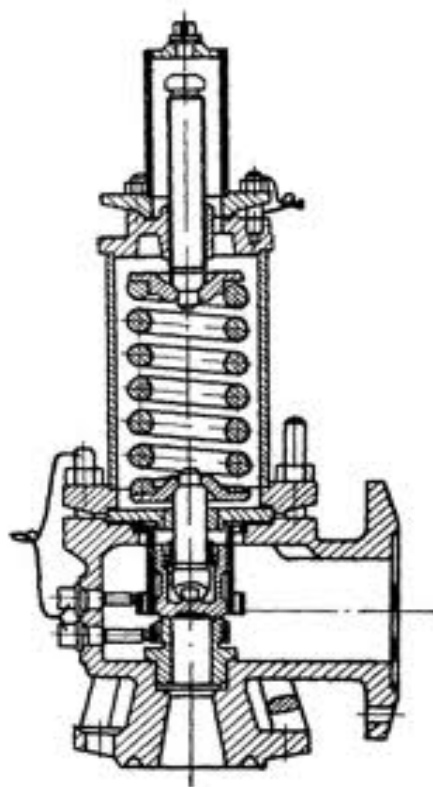
По конструкции предохранительные клапаны могут быть:

- грузовые и рычажно-грузовые,
- пружинные,
- мембранные.

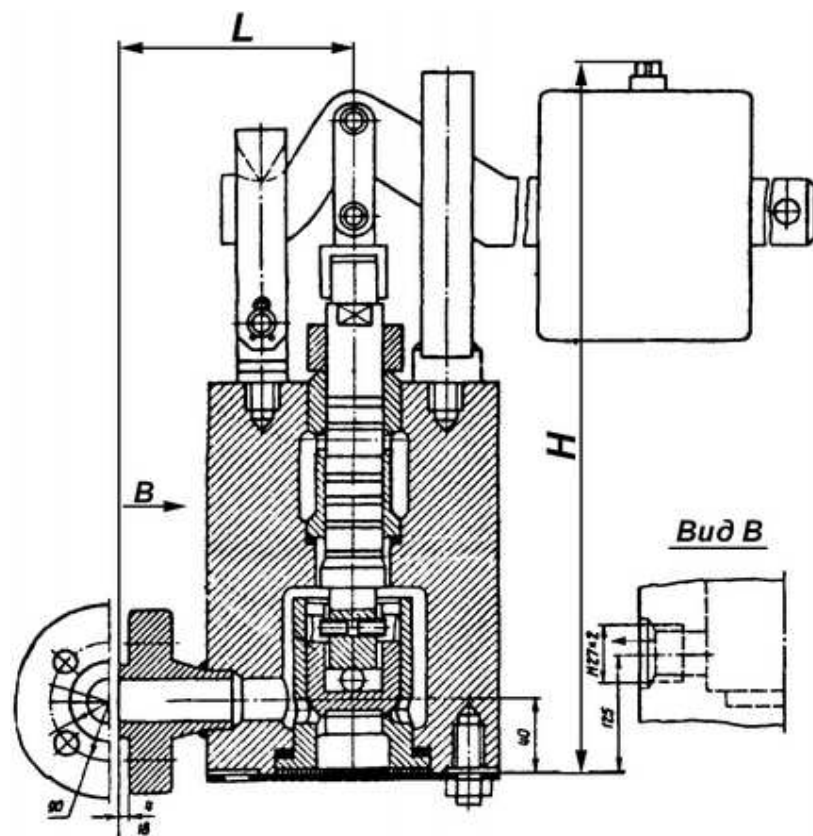
Кроме того, их делят на клапаны:

- прямого действия,
- непрямого действия (обратные).

Виды конструкций различных типов клапанов



Клапан
предохранительный
пружинный типа
СППК4 t до 450 °C



Клапан импульсный
рычажно-грузовой
сальниковый 112-25x1

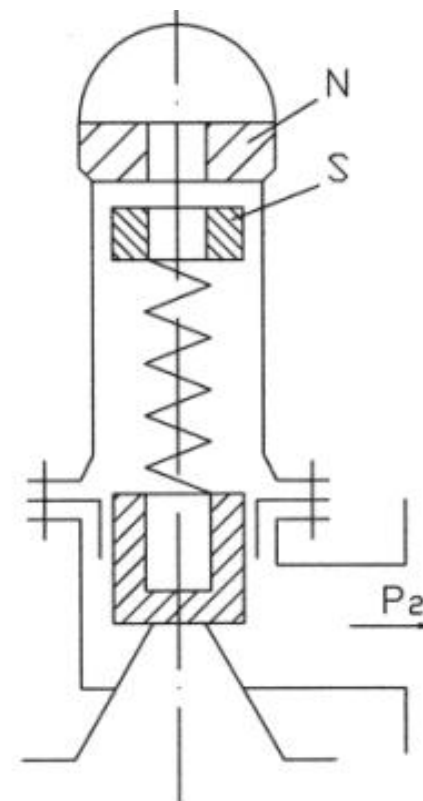


Схема магнитно-
пружинного
клапана

3. Расчёт и проектирование ограничителей грузоподъёмности кранов

Каждый грузоподъёмный механизм представляет опасность для человека, так как падение груза с высоты подъёма может привести к травмированию человека. Падение груза может произойти вследствие разрушения крюка, обрыва тросовой системы или разрушения стрелы (для стреловых кранов). Все разрушения происходят по причине подъёма груза больше рабочего расчётного.

Для исключения этих явлений каждый грузоподъемный кран оборудуется системой защиты – ограничителем грузоподъемности.

$$Z_T \cdot G < G_{\text{раб}} ,$$

где G – масса поднимаемого груза;

$G_{\text{раб}}$ – разрешенная грузоподъемность крана

Ограничитель грузоподъемности должен удовлетворять двум требованиям:

1. Погрешность по отношению к номинальной массе не должна превышать 15 %.

2. Быстродействие должно быть таким, чтобы предотвратить рост опасных перегрузок для силовых элементов крана.

Несмотря на то, что при проектировании закладываются запасы прочности и крюка, и грузового каната, и конструкции основания, и стрелы крана, Ростехнадзор определяет, что ограничитель грузоподъёмности должен выполнять свои функции при

$$Z_T \cdot G = 1,15 G_{\text{раб}}.$$

Определенные нагрузки на элементы крана могут быть прямые и косвенные.

У кранов старых конструкций – чаще всего – косвенные.

У кранов с гидравлическим приводом – по величине давления жидкости после гидромотора.

У кранов с электрическим приводом – по величине тока, потребляемого электрическим двигателем.

Современные краны, как правило, оснащены ограничителями грузоподъёмности прямого действия, т.е. измеряющие нагрузку либо на крюке, либо в тросовой системе.

Погрешность ограничителя δ определяется по формуле

$$\delta = \frac{(Q_{\max} - Q_{\min})}{Q_c},$$

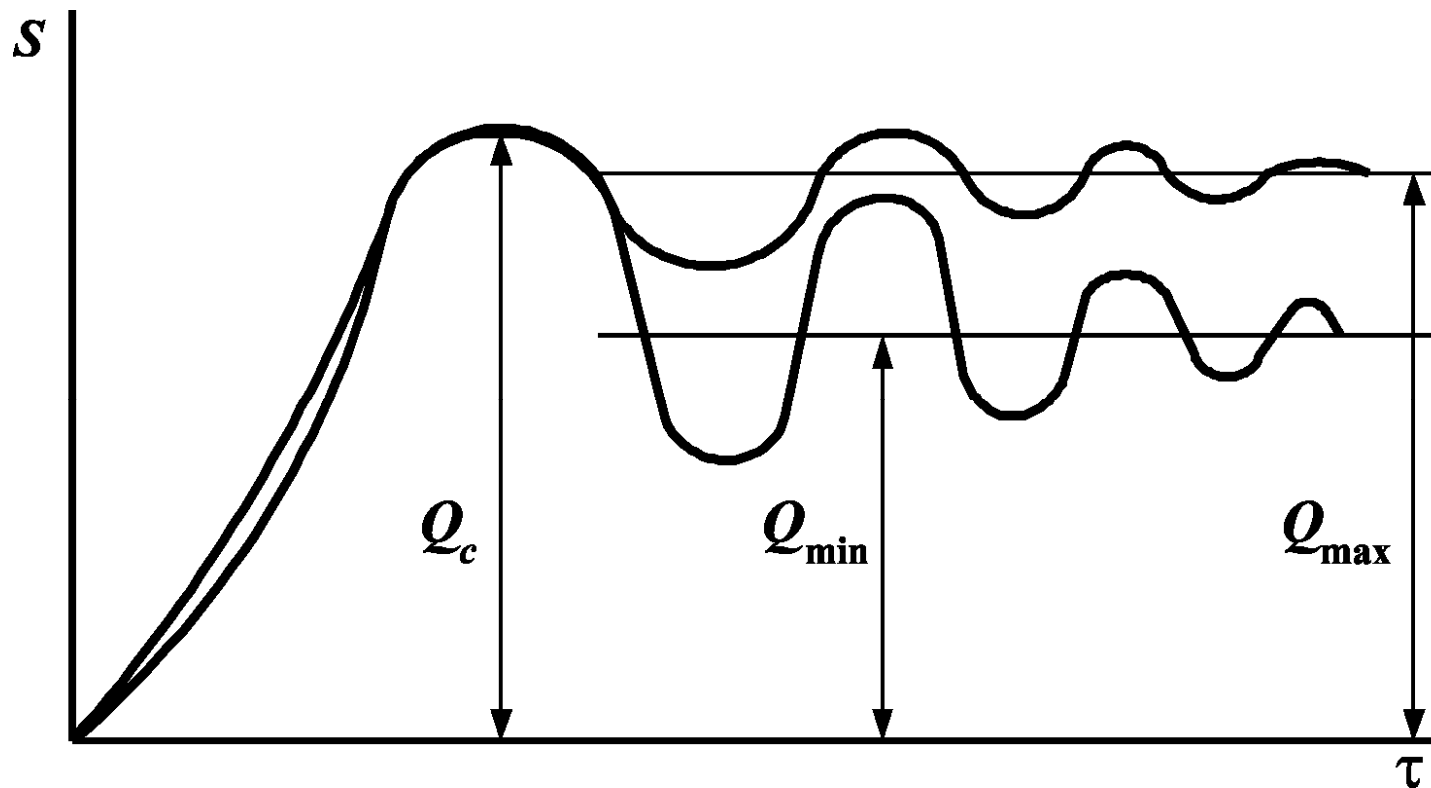
где Q_c – вес груза, при котором срабатывает ограничитель;

Q_{\max} , Q_{\min} – максимальный, минимальный вес груза, при котором срабатывает ограничитель.

Суммарная погрешность δ складывается из статической и динамической погрешностей.

Статическая погрешность обусловлена силами трения в полиспасте механизма подъема и в передаточном механизме ограничителя грузоподъемности

Динамическая погрешность обусловлена тем, что при различных режимах подъема с основания даже одинаковых грузов возникают различные максимальные динамические усилия в канатах.

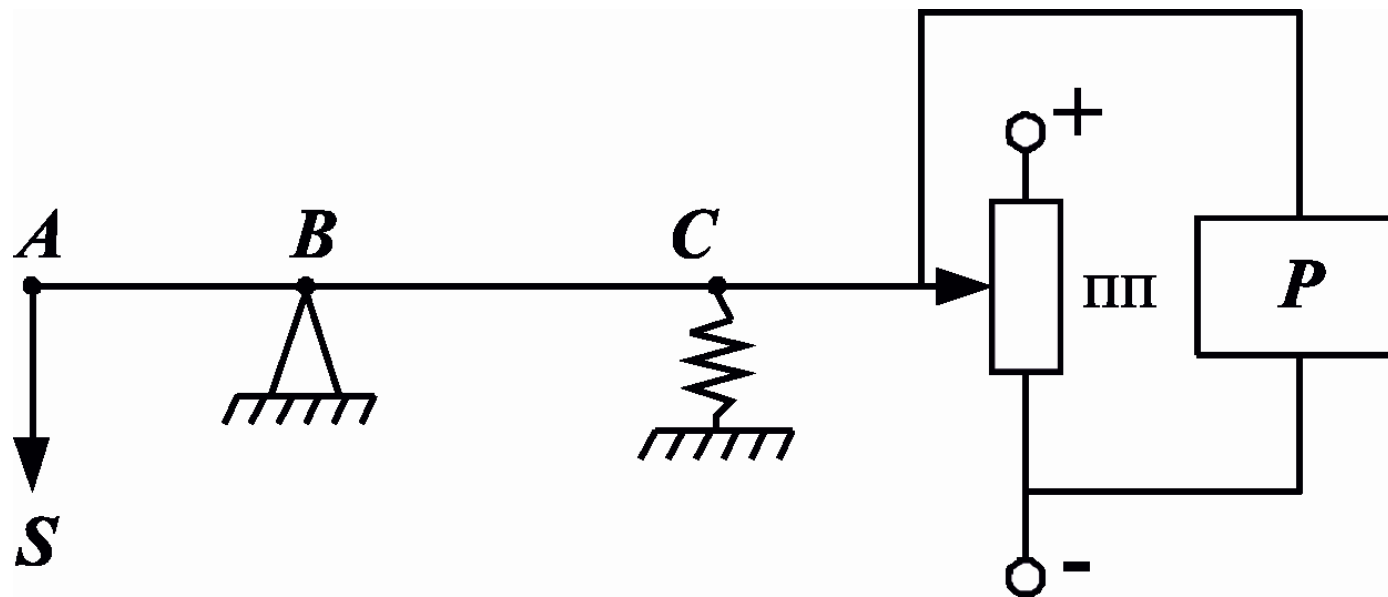
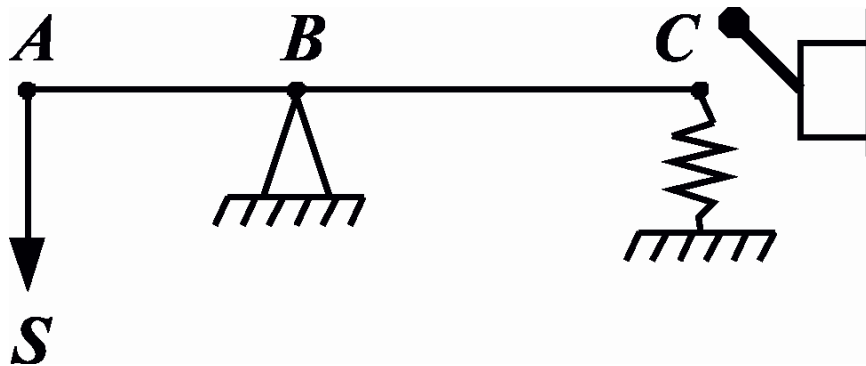


$$Q_C = Q_{\max} \cdot k_{\min} = Q_{\min} \cdot k_{\max},$$

$$\delta_{\text{дин}} = \frac{(k_{\max} - k_{\min})}{k_{\max} \cdot k_{\min}},$$

$$k_{\min} = 1,05; \quad k_{\max} = 1,2 \dots 1,5.$$

Схемы ограничителей грузоподъемности



Рассмотрим расчёт токов, протекающих через электродвигатель, вращающий лебёдку.

Механический момент на валу двигателя зависит от нагрузки на грузовой канат и радиуса лебёдки. При этом запасовка грузового каната в полиспаст снижает нагрузку на $1/2$, если полиспаст одинарный, или в 4 раза, если полиспаст двойной.

Следовательно, несложно определить механический момент, необходимый для подъёма расчётного груза, как и ΔM , связанный с повышением этой нагрузки сверх расчётной.

Электронные ограничители грузоподъёмности



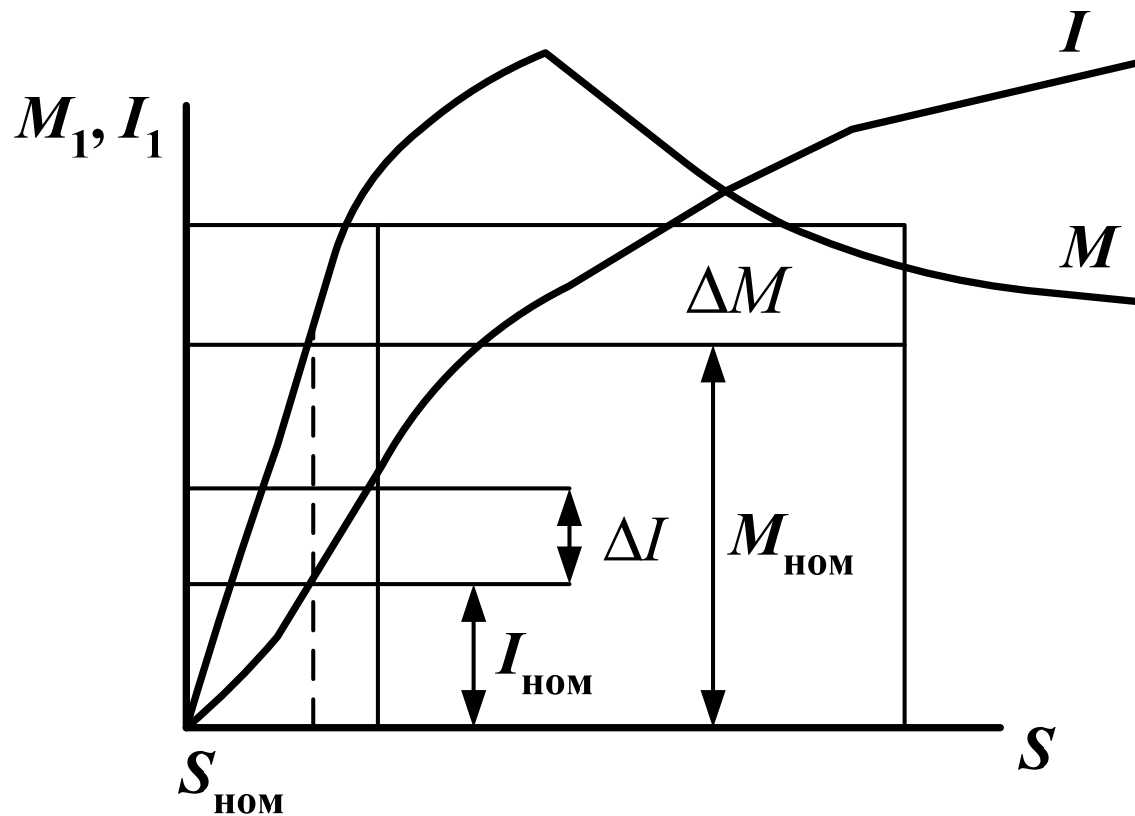
Датчик нагрузки для установки на неподвижный конец троса. Датчик нагрузки действует по принципу тензометра, используется, в частности, для ограничения и отображения нагрузки



Датчик нагрузки для установки на трос



Интеллектуальный
монитор перегрузки



Здесь S –
скольжение ротора,

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_2};$$

n_1 – частота вращения магнитного поля, $n_1 = \frac{GOf}{p};$

p – число пар полюсов;

f – частота подводимого напряжения;

n_2 – частота вращения ротора электродвигателя. 81

Таким образом, рост величины тока свидетельствует о росте груза, и при достижении расчётной величины оборудование крана отключается.

Существует целая линейка грузоподъёмных кранов, работа которых основана на гидравлическом приводе.

Гидромотор осуществляет вращение лебёдки, что обеспечивает высокую точность и плавность работы кранового оборудования.

В этом случае ограничитель грузоподъёмности работает по принципу повышения давления в гидросистеме.

Уже обсуждалось, как определить механический момент на лебедке $M_{\text{потр}}$.

Ему соответствует момент, создаваемый гидромашиной,

$$M_{\text{потр}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10} \cdot V \cdot \Delta p^{\text{н}},$$

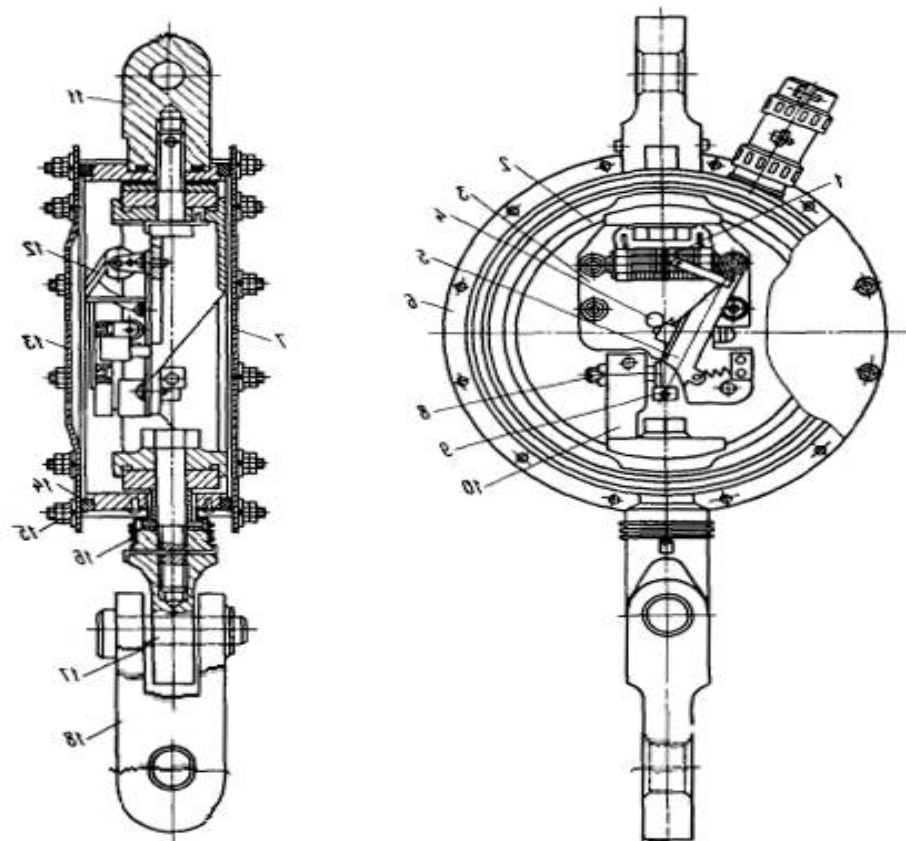
где V – рабочий объем жидкости, проходящий через гидромашину за 1 оборот вала;

$\Delta p^{\text{н}}$ – разность давлений в гидросистеме между выходом и входом.

Если возникает потребность в большем моменте, то, соответственно, должно возрасти Δp^H . При превышении нагрузки на более чем 1,15, срабатывает перепускной клапан, и движение лебёдки останавливается.

Существует целая серия ограничителей грузоподъёмности механического типа ОГП, ОГБ-2, ОГБ-3. Принцип работы такого ограничителя состоит в измерении натяжения тросовой системы датчиком усилий.

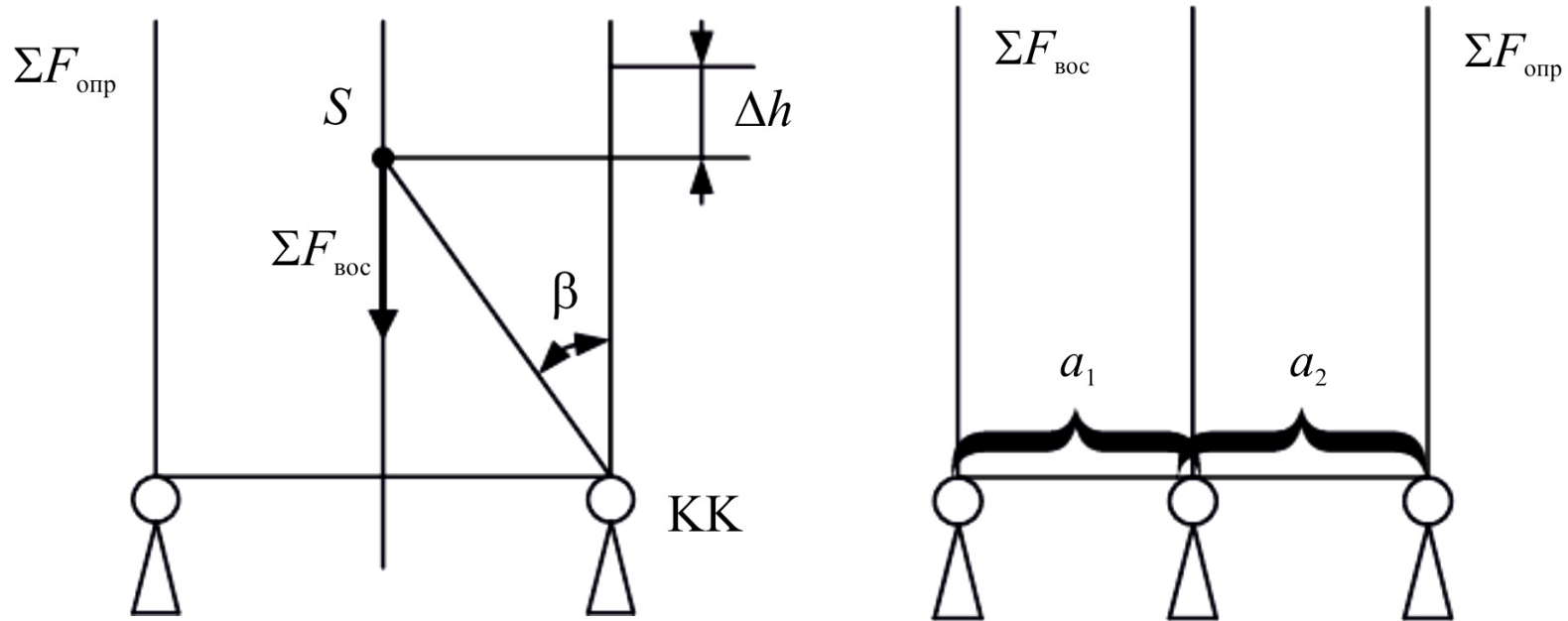
Изменение натяжения физически изменяет положение ползунка на потенциометре, что приводит к разбалансировки моста.



4. Расчёт и проектирование опор грузоподъёмных кранов

Очевидно, что любой кран может опрокинуться под действием груза и других факторов. Для предотвращения этого явления краны оборудуются опорами как средством защиты.

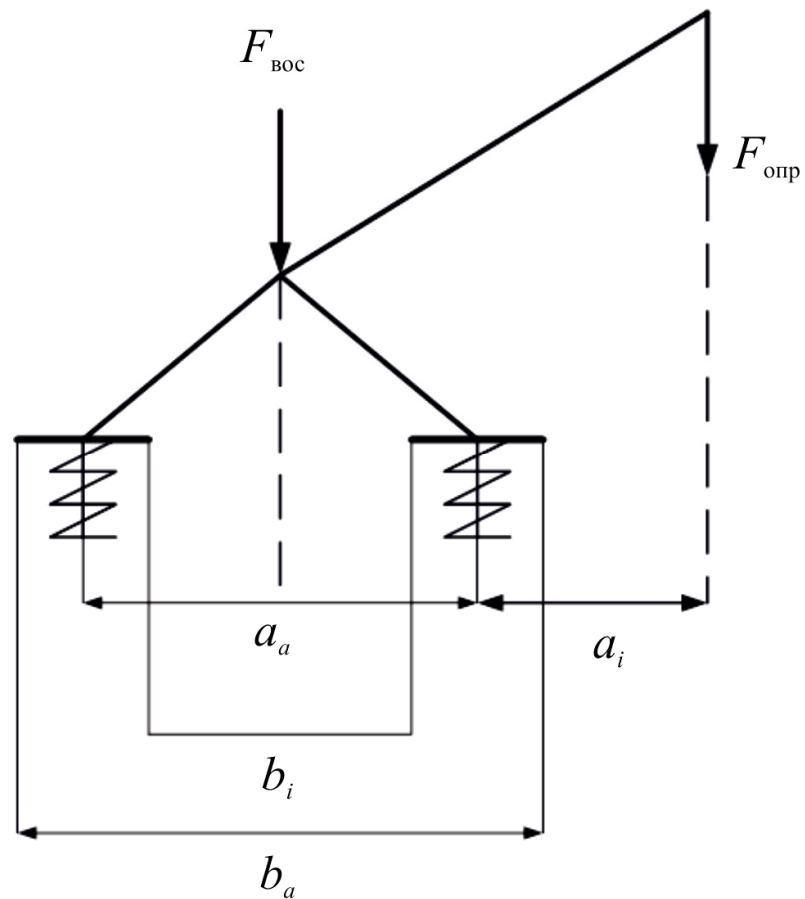
Расчетная схема



Условия равновесия:

$$M_{\text{вос}} > M_{\text{опр}},$$

$$a_1 \Sigma F_{\text{вос}} > a_2 \Sigma F_{\text{опр}}$$



$$M_{\text{опор}} = \frac{M_{\text{опр}} (b_a - b_i)^2}{4 \left(2b_a^2 - b_i^2 - 2 \frac{F_{\text{BOC}}}{C_i} \right)},$$

где C_i – жесткость i -й опоры.

Из выражения для $M_{\text{опор}}$ следует, что чем больше размер опор, тем больший момент выдерживают опоры.

Следовательно, аналогично этому, чем больше жёсткость опоры, т.е. более плотный грунт или более прочные подкладки под опору, тем больший момент выдерживает опора.

Тема №3

РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

Учебные вопросы:

1. Общие принципы защиты от производственного шума.
2. Расчет и проектирование систем звукоизоляции.
3. Расчет и проектирование систем звукопоглощения.

Литература:

Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование : справочник / сост. С. В. Белов [и др.] ; под ред. С. В. Белова .— М.: Машиностроение, 1989 .— 365 с.

Источники шума известны. В результате их деятельности возникает производственный шум различной частоты f и различной интенсивности L_p , при этом весь шум подразделяют:

- на инфразвук, который мы не слышим, но который действует на организм человека, $f < 20$ Гц;
- звук, который мы слышим, f от 20 Гц до 20 кГц;
- ультразвук, который мы не слышим, но который действует на организм человека, $f > 20$ Гц.

1. Общие принципы защиты от производственного шума

1. Снижение мощности в источнике опасности $\varphi(t)$.
2. Звукоизоляция рабочих мест.
3. Звукопоглощение на пути распространения звука.
4. Звукоотражение.

Известно, что допустимое значение
производственного шума составляет 50–60 дБ.

Разность определяется преимущественными
полосами шума.

Разработка системы защиты от шума производится на основании акустического расчета:

- влияние расчетных точек (РТ);
- определение ожидаемых уровней звукового давления (УЗД) дБ;
- определение требуемого снижения УЗД в РТ.

РТ выбирается на рабочем месте на высоте 1,2...1,5 м от пола.

Если в помещении несколько рабочих мест, то РТ выбирается в зоне прямого звука, а другая – в зоне отражённого звука.

Октавные полосы:

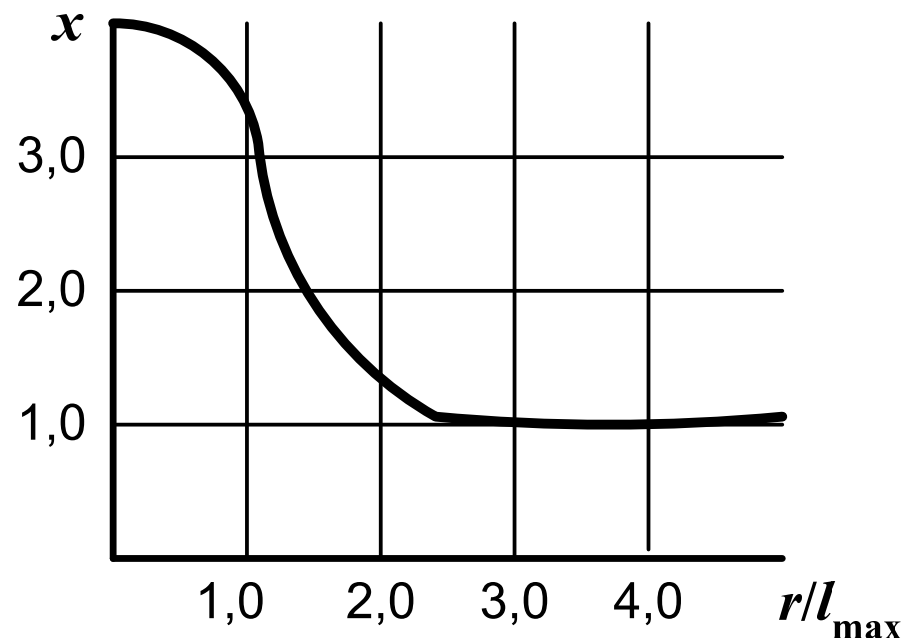
63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000.

Для одного источника шума октавные УЗД определяются по формуле:

$$L = L_p + 10 \lg \left(x \frac{\Phi}{S} + \frac{4}{B} \right),$$

где L_p – активный уровень звуковой мощности по паспортным данным оборудования;

x – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля. Определяется как отношение расстояния между расчетной точкой и источником шума r и максимальному габаритному размеру источника шума $l_{\max} - r/l_{\max}$;



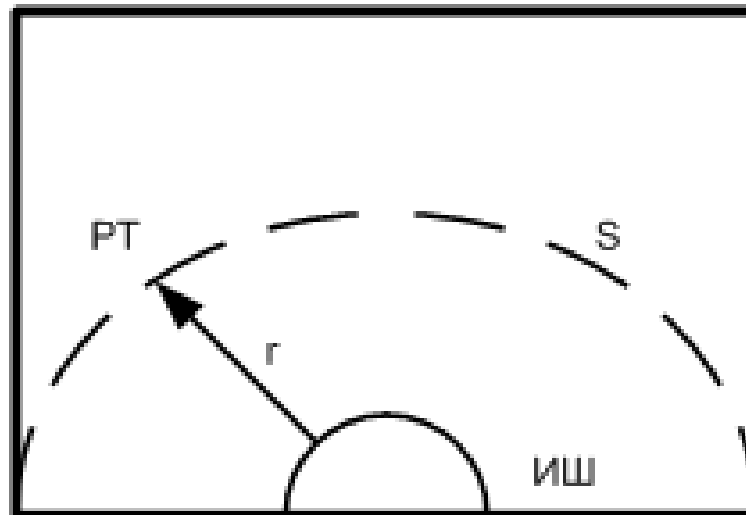
Φ – фактор направленности. Для источника с равномерным излучением звука $\Phi=1,0$;

S – площадь правильной геометрической формы, окружающая источник звука и расчетную точку,

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

Ω – пространственный угол излучения,

r – расстояние от ИШ до РТ.



$B=S\cdot\alpha(1+\alpha)$ – постоянная помещения,
 где α – коэффициент звукопоглощения в
 помещении. Находится из таблицы.

Тип помещения	Среднегеометрические частоты, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Помещение облицовано моющейся плиткой	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
Необлицованные стены механических производств	0,1	0,1	0,1	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
Лаборатории, КБ, посты управления	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14

Если несколько источников шума, то октавные
УЗД определяются так:

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_i x_i \Phi_i}{S_i} + \frac{4}{B} \sum_{i=1}^n \Delta_i \right),$$

где $\Delta_i = 10^{0,1 L_{P_i}}$

Вычислив величину L в каждой РТ и сопоставив с допустимой величиной, получим требуемую величину снижения ΔL для каждой из октавных полос.

2. Расчет и проектирование систем звукоизоляции

Средства звукоизоляции:

- акустические экраны,
- звукоизолирующие ограждения (перекрытия, перегородки, окна, двери),
- звукоизолирующие кожухи,
- звукоизолирующие кабины.

Акустические экраны применяются при $Z_T = \Delta L \leq 20$ дБ и если прямой звук больше отраженного на 10 дБ.

Размеры экрана по высоте H и ширине l должны быть существенно (в 3–4 раза) больше экранируемого источника.

Эффективность плоских экранов

$$Z_T = \Delta L$$

Размеры экрана		Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
<i>H</i>	<i>l</i>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2,4	1,0	0	0	5,7	7,0	8,5	9,0	11,5	15,0
2,4	2,0	3,0	7,0	10,0	13,0	14,0	15,0	21,0	23,0
2,4	5,0	8,0	11,0	13,0	16,0	21,5	24,0	25,0	27,0

Ограждения

Эффективность ограждения в общем случае вычисляется как

$$Z_T = \Delta L = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{пад}}}{P_{\text{пр}}} \right),$$

где $P_{\text{пад}}$ – звуковая мощность, падающая на ограждение;

$P_{\text{пр}}$ – звуковая мощность, прошедшая через ограждение, т.е. за ним.

При проникновении шума из одного помещения в другое

$$Z_T = \Delta L = L_{\text{ист}} - L_{\text{доп}} - 10 \lg B + 10 \lg S_{\text{огр}},$$

где $S_{\text{огр}}$ – площадь ограждения, разделяющего помещения, м².

Звукоизоляция стен и перегородок, дБ

Конструкции	Толщина, мм	Поверхностная плотность, кг/м ²	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Кирпичная кладка, оштукату- ренная с двух сторон	140	220	32	39	40	42	48	54	60	60
	270	420	36	41	44	51	58	64	65	65
	410	620	41	44	48	55	61	65	65	65
	680	1000	45	47	55	60	67	70	70	70
Железобетон- ная панель	100	250	38	38	38	44	50	58	60	60
	400	1000	45	47	55	61	67	70	70	70
Гипсобетон- ная панель	80	115	32	32	33	39	47	54	60	60
Древесно- стружеч- ная плита	30	12	23	23	26	26	26	26	26	26

Звукоизолирующие кожухи

Одним из важных методов борьбы с шумом является звукоизоляция источника шума звукоизолирующим кожухом.

Защита сплошным герметичным кожухом рассчитывается по формуле

$$Z = Z_{\text{тр}} - 10 \lg \alpha_{\text{об}},$$

где $\alpha_{\text{об}}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки внутренней поверхности кожуха.

Звукоизоляция стенок кожуха, дБ

Материал	Раз- мер стен- ки, м	Толщи- на стенки, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Сталь	4×4	1,5–2	21	26	32	36	42	47	50	30
	4×2		27	25	30	35	40	46	48	31
	4×4	3–4	24	29	35	30	45	47	33	42
	4×2		29	26	33	37	42	45	34	43
	4×4	5–6	27	32	37	42	44	35	44	53
	4×2		30	28	35	40	42	35	44	53
Al–Mg сплавы	4×4	1,5–2	14	19	24	28	33	38	42	24
	4×4	3–4	15	20	25	30	36	38	23	31
	4×4	5–6	18	23	28	33	36	24	32	42
Органичес- кое стекло	4×4	3–4	11	16	22	27	33	39	43	21
	4×4	5–6	16	21	26	31	36	38	21	30
	4×4	12–15	19	24	28	34	36	24	32	42

Внутренние поверхности стенок кожуха облицовывают звукопоглощающим материалом. Для облицовки используется минеральная вата в виде плит, маты из стекловолокна, базальтового волокна и др.

Исходя из выделяемого источником шума тепла, в кожухах иногда вынуждены делать отверстия для отвода тепла. Тогда средняя защита такого кожуха определяется как для ограждения.

Звукоизолирующие кабины

Иногда проще и удобнее сделать звукоизолирующую кабину, в которой разместить пульты дистанционного управления и оператора:

$$Z_{\text{тр}} = L_{\partial} - 10 \lg B + 10 \lg S - L_{\text{доп}} + 10 \lg n,$$

где n – количество одинаковых элементов кабины (окна, двери, стены, потолок).

Определены классы кабин по звукоизоляции.

Изоляция кабин от шума, дБ

Класс каби- ны	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	25	30	35	40	45	50	50	45
2	15–24	20–29	25–34	30–39	35–44	40–49	40–49	35–44
3	5–14	10–19	15–24	20–29	25–34	30–39	30–39	25–34
4	0–4	0–9	5–14	10–19	15–24	20–29	20–29	15–24

3. Расчет и проектирование систем звукопоглощения

Средства звукопоглощения применяют для снижения шума на рабочих местах, когда требуемое снижение ΔL в РТ 1...3 дБ в трех октавных полосах или 5 дБ хотя бы в одной полосе.

Для этого считают акустическое отношение

$$\frac{I_{\text{отр}}}{I_{\text{пр}}} = Q.$$

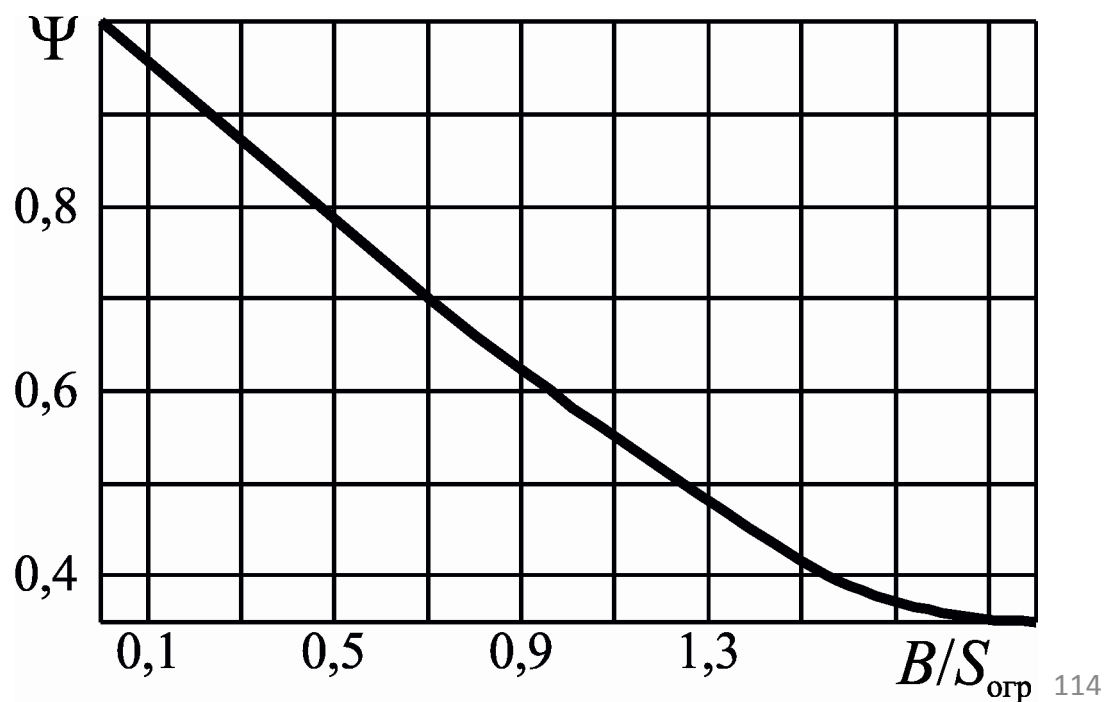
Звукопоглотители снижают главным образом отраженный звук.

Тогда

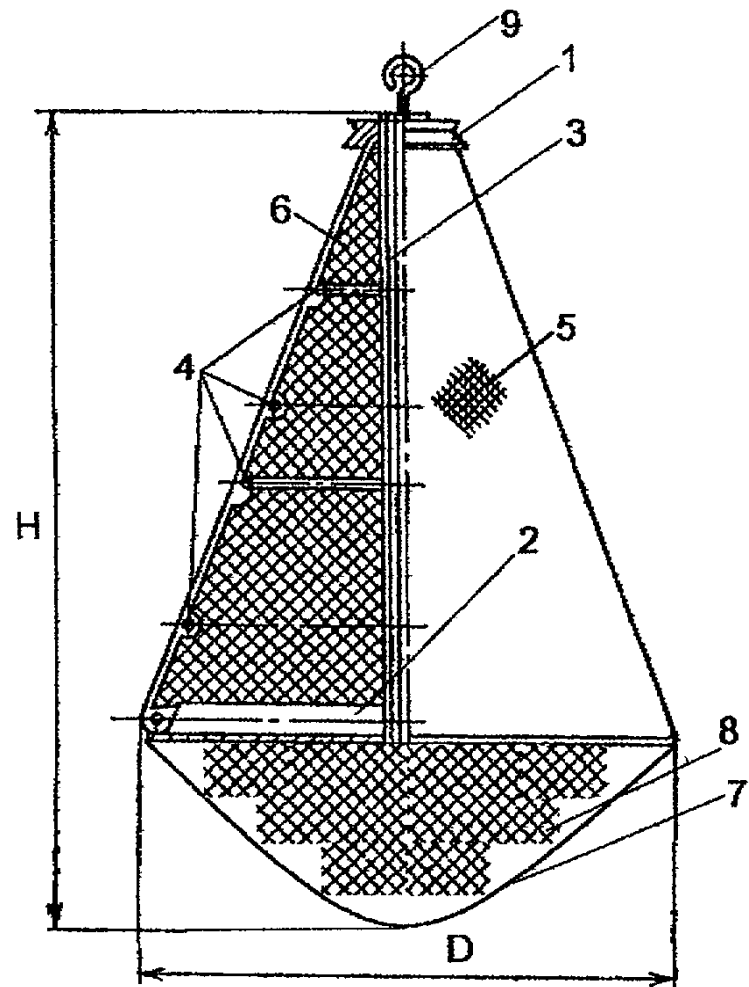
$$Z_T = \Delta L = 10 \lg \left[\frac{B_1 \psi}{(B \psi_1)} \right],$$

где B и B_1 – акустические коэффициенты до и после установки звукопоглотителей;

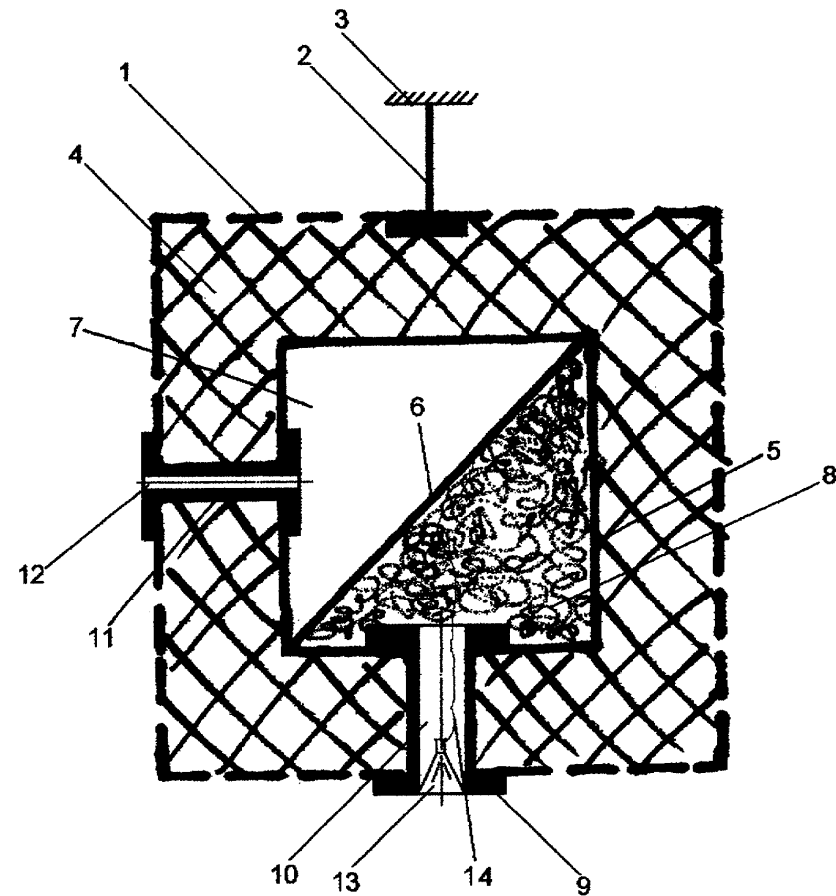
ψ и ψ_1 – коэффициенты, определяемые по графику.



Средства звукопоглощения



Конический штучный
звукопоглотитель



Кубический штучный
звукопоглотитель

Глушители шума

Глушители устанавливаются в каналах движения звука или на месте его выброса.

Они могут быть:

- абсорбционные,
- реактивные,
- комбинированные.

Абсорбционные глушители снижают шум за счет поглощения звуковой энергии поглощающими материалами.

В реактивных глушителях энергия отражается обратно к источнику.

Комбинированные глушители как поглощают, так и отражают энергию.

Тема №4

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

Учебные вопросы:

1. Общие подходы к борьбе с вибрацией.
2. Расчет и проектирование систем виброизоляции.
3. Расчет и проектирование систем виброгашения.

Литература:

Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: справочник / сост. С.В. Белов [и др.]; под ред. С.В. Белова .— М.: Машиностроение, 1989 .— 365 с.

1. Общие подходы к борьбе с вибрацией

Неуравновешенные части оборудования приводят к возникновению колебаний, имеющих амплитуду A_m , скорость виброперемещения V_m и частоту колебаний f_m . Поскольку вибрация является вредным фактором производственной деятельности для человека, которая может привести к вибрационной болезни, необходимо защитить человека от вибрации.

Как известно, Z_T – это Z_ϕ , и Z_ρ , и Z_τ .

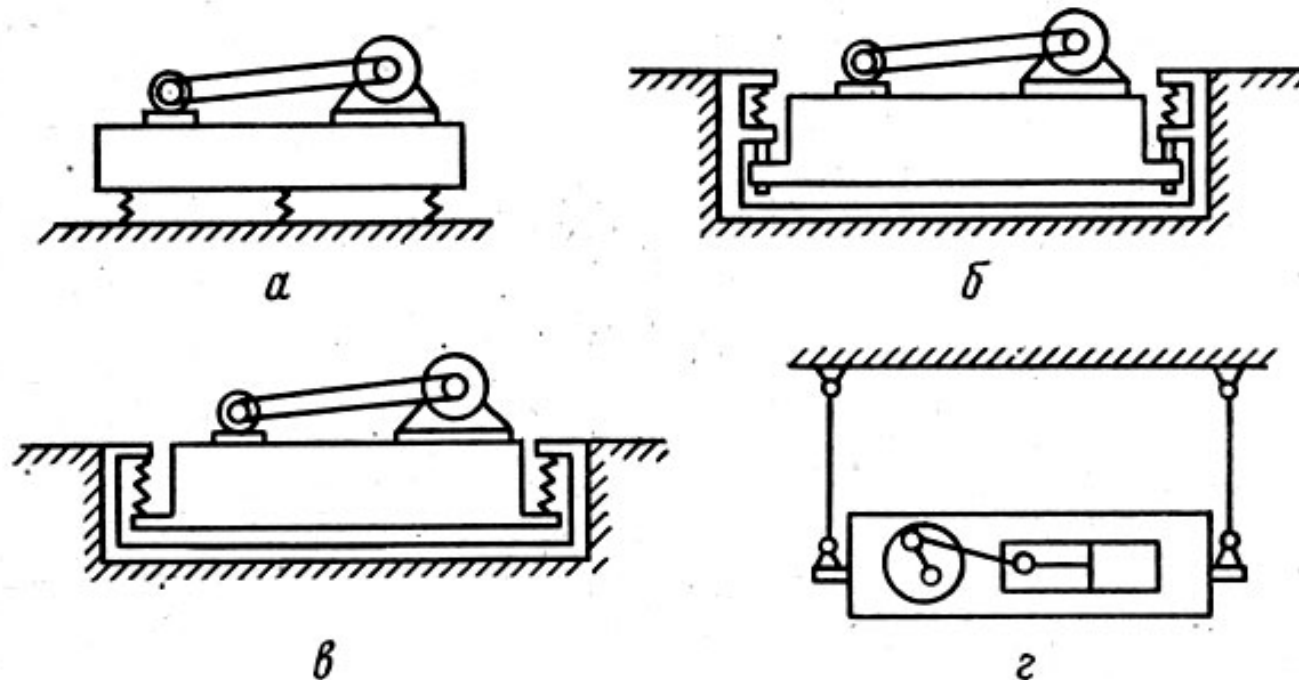
Попытаемся создать систему защиты от ϕ – т.е. Z_ϕ .

Существуют 2 принципиально разных подхода к защите от вибрации:

- 1-й путь – защита в месте образования вибрации;
- 2-й путь – защита человека на пути распространения вибрации.

В первом случае основное внимание уделяется защите от вибрации фундаментов, полов, т.е. того, что передает вибрацию работающему.

Схемы систем виброизоляции машин



2. Расчет и проектирование систем виброизоляции

Методика расчета позволяет определить число и тип виброизоляторов для снижения вибрации до норм ГОСТ Р 12.1.012.

Исходные данные:

- масса машины m ;
- моменты инерции I_{mx} , I_{my} , I_{mz} по осям x , y , z , проходящим через центр масс;
- габаритные размеры оборудования;
- число оборотов привода $n_{\text{обр}}$;
- неуравновешенная центробежная сила F^1 .

Порядок расчёта

1. Выбирается схема размещения виброизоляторов.

Как правило, схема предполагает их симметричное расположение вокруг главной оси вибрации установки.

2. Определяются координаты центра масс системы

«машина – опорная плита» x_0, y_0, z_0 , начало которых посередине опорной плиты.

$$x_0 = \frac{1}{m + M} \sum_{i=1}^n m_i x_i ; \quad y_0 = \frac{1}{m + M} \sum_{i=1}^n m_i y_i ;$$

$$z_0 = \frac{1}{m + m} \sum_{i=1}^n m_i z_i ,$$

где m_i – масса i -го элемента в системе;

m – масса машины;

M – масса опорной плиты.

3. По полученным значениям координат определяются моменты инерции системы.

$$I_{0x} = \sum \left[I_{x_i} + m_i (y_{0_i}^2 + x_{0_i}^2) \right] ;$$

$$I_{0y} = \sum \left[I_{y_i} + m_i (x_{0_i}^2 + z_{0_i}^2) \right] ;$$

$$I_{0z} = \sum \left[I_{z_i} + m_i (z_{0_i}^2 + y_{0_i}^2) \right] .$$

4. Рассчитывается значение условной частоты возмущающей силы,

$$\omega = 2\pi n_{05/60} \cdot$$

5. Определяется возмущающее воздействие по каждой координате.

Заданная центробежная сила заменяется вертикальной

$$F_{\text{воз.z}} = F \cdot \sin \omega t$$

и горизонтальной

$$F_{\text{воз.x}} = F \cdot \cos \omega t.$$

Возмущающая сила обуславливает возникновение крутящих моментов вокруг осей x, y, z – M_{mx}, M_{my}, M_{mz} .

6. Определяются значения амплитуд колебаний a_{mx} , a_{my} , a_{mz} и угловых колебаний φ_{mx} , φ_{my} , φ_{mz} .

$$a_{mz} = \frac{F_{mz}}{(m + M)\omega^2}; \quad \varphi_{mx} = \frac{\sum M_{mx}}{I_{0x}\omega^2};$$

$$a_{my} = 0; \quad \varphi_{my} = \frac{\sum M_{my}}{I_{0y}\omega^2};$$

$$a_{mx} = \frac{F_{mx}}{(m + M)\omega^2}; \quad \varphi_{mz} = \frac{\sum M_{mz}}{I_{0z}\omega^2}.$$

7. Полученные расчетные значения сравниваются с требованиями ГОСТ 12.1.012

Если значения амплитуд или угловых колебаний не соответствует допустимым нормам, то:

- или изменяют параметры фундамента,
- или изменяют количество и расположение виброизоляторов.

8. *Вычисляется потребная жёсткость системы виброизоляции,*

$$q = (m + M) \omega_0^2.$$

9. *Определяется потребная динамическая жёсткость каждого виброизолятора,*

$$q_i = \frac{q}{N}.$$

10. *Определяется расчетная нагрузка на виброизолятор,*

$$F_i = F_{\text{ст}} + 1,5 F_{\text{дин}}.$$

11. *Из справочников и прайсов подбираются выпускаемые виброизоляторы.*

Если по каким-либо причинам не удастся осуществить виброизоляцию источника колебаний (например в самоходных машинах, тракторах, грейдерах и др.), то $Z_{Тф}$ может быть осуществлена в месте работы человека.

Виброизоляция рабочего места

1. Задают число виброопор и их размещение.
2. Определяют жёсткость виброизоляторов q .
3. Определяют степень вибродемпфирования

$$D = \frac{\varepsilon}{2} \sqrt{q m_{\Sigma}}$$

где ε – коэффициент трения виброопор,

$$m_{\Sigma} = m_c + m_{\text{ч}} + M + m_{\text{об}},$$

m_c – масса сидения,

$m_{\text{ч}}$ – масса человека,

$m_{\text{об}}$ – масса оборудования на рабочем месте,

M – масса опорной конструкции.

4. Вычисляют значения угловых частот возбуждения

$$\omega_k = 2\pi f_k ,$$

где $f_k = \left(\frac{1}{2} \pi \right) \sqrt{\frac{q_z}{m_z}} ,$

и отношений $\frac{\omega_k}{\omega_0} ,$

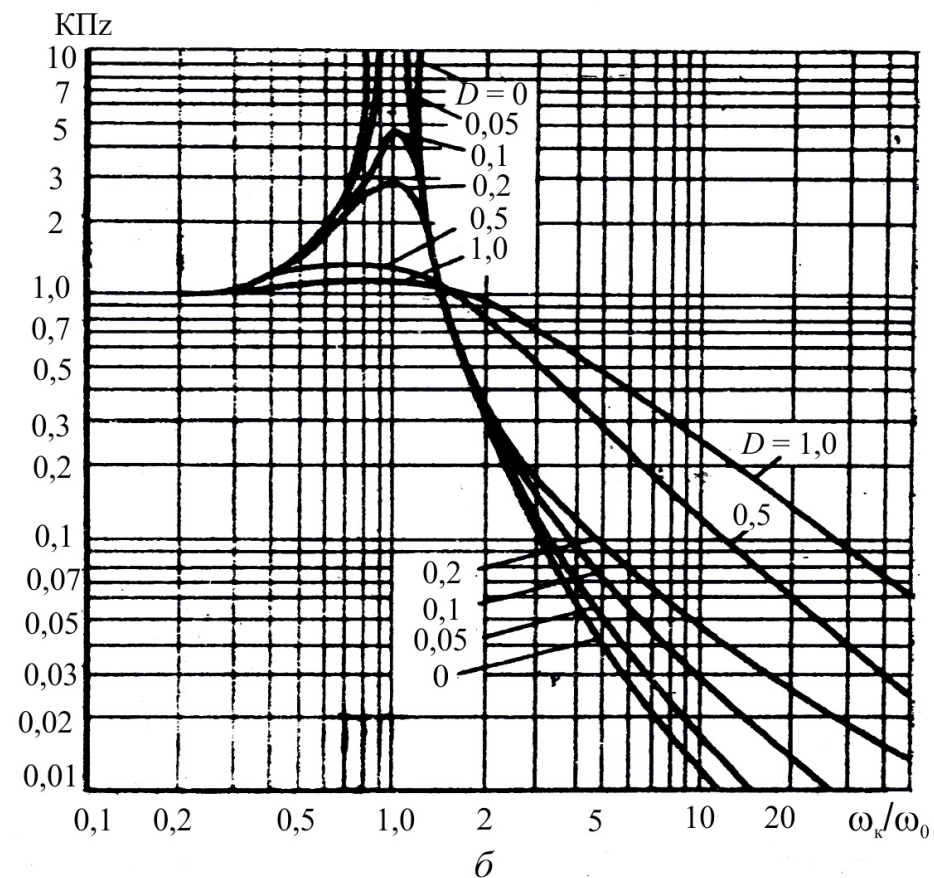
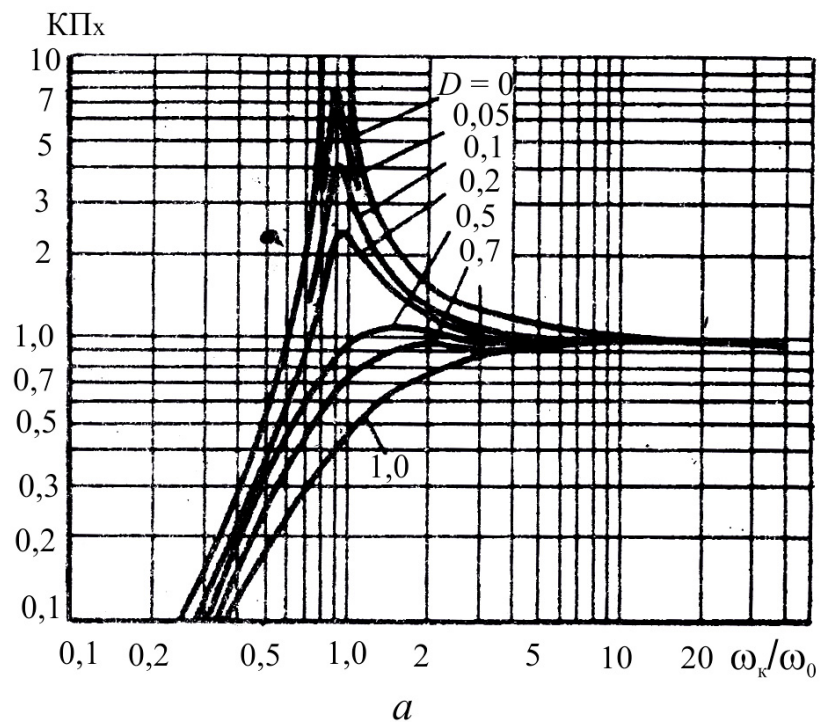
где $\omega_0 = 2\pi f_0 .$

5. Определяют коэффициенты передачи

$$\text{КП}_x = \frac{\left(\frac{\omega_k}{\omega_0} \right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_k}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \left[2D \left(\frac{\omega_k}{\omega_0} \right) \right]^2}};$$

$$\text{КП}_z = \frac{1 + \left[2D \left(\frac{\omega_k}{\omega_0} \right) \right]^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_k}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \left[2D \left(\frac{\omega_k}{\omega_0} \right) \right]^2}}.$$

Для $D = 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0$ зависимости $KП_x$ и $KП_z$ от ω_k/ω_0 приведены на рисунках.



6. Определяют вертикальные скорости и ускорения перемещения

Способ описания движения кресла	$\left(\frac{dz}{dt} \right)$	$\left(\frac{d^2 z}{dt^2} \right)$
Перемещением	$\text{КП}_z \omega y$	$\text{КП}_z \omega^2 y$
Скоростью	$\text{КП}_z \left(\frac{dy}{dt} \right)$	$\text{КП}_z \omega \left(\frac{dy}{dt} \right)$
Ускорением	$\frac{\text{КП}_z}{\omega} \left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right)$	$\text{КП}_z \left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right)$

7. Определяют среднеквадратические значения скорости, ускорения:

$$v_{\text{СК}} = \frac{1}{1,41} \left(\frac{dz}{dt} \right), \quad \omega_{\text{СК}} = \frac{1}{1,41} \left(\frac{d^2 z}{dt^2} \right).$$

Для значений, попавших в одну стандартную октавную полосу, вычисляют суммарное значение:

$$v_{\Sigma} = \sqrt{\sum_i^k v_{\text{СК}_i}^2}; \quad \omega_{\Sigma} = \sqrt{\sum_i^k \omega_{\text{СК}_i}^2}.$$

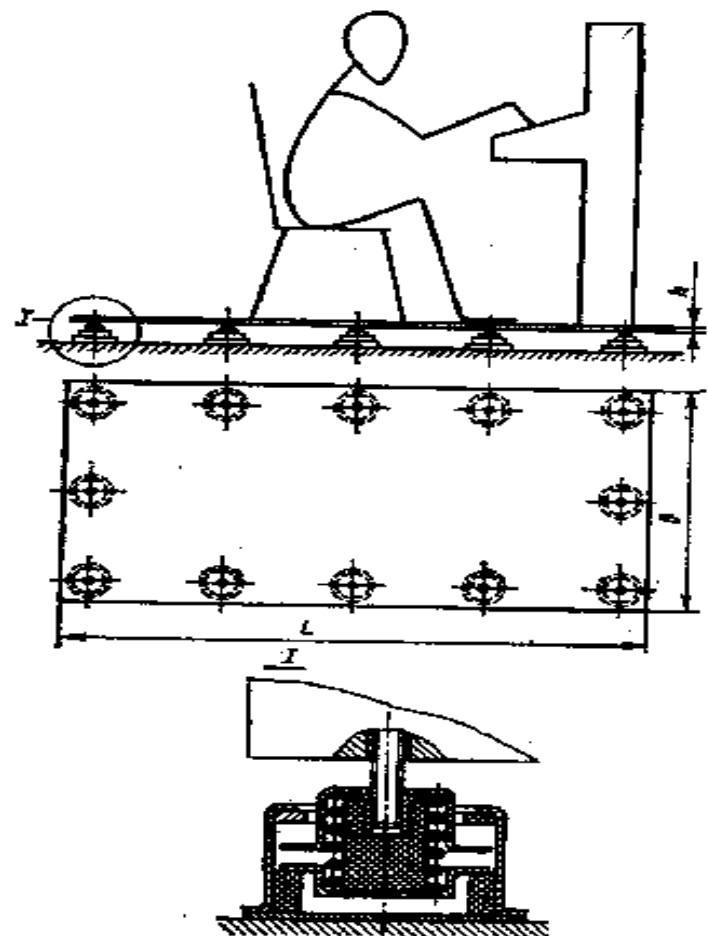
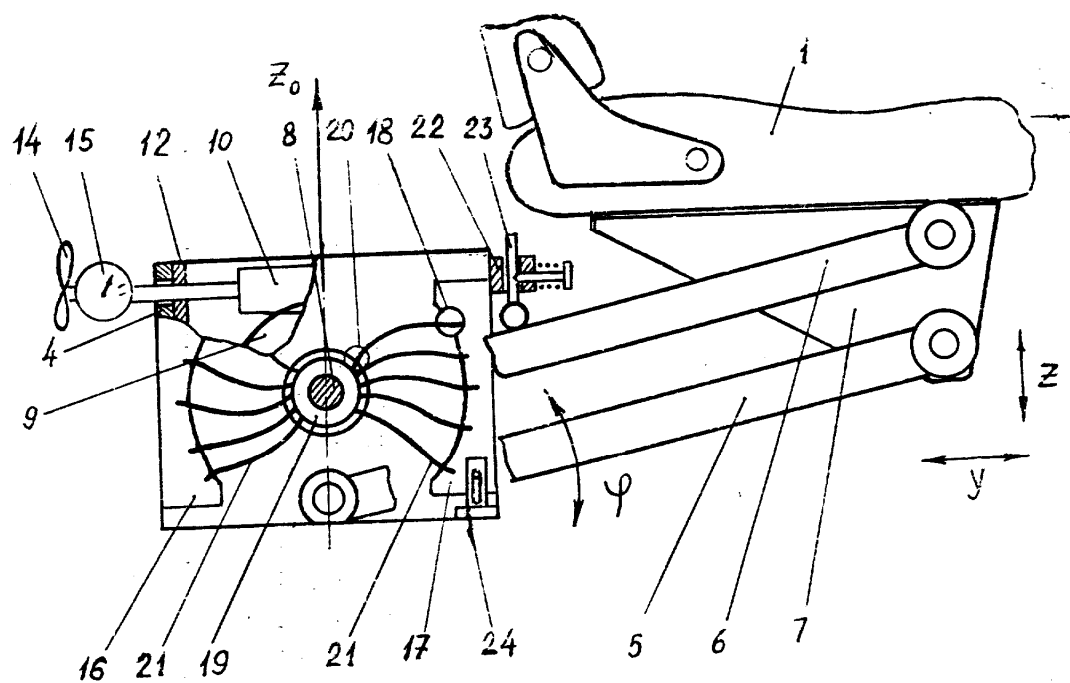
Граничные частоты стандартных октавных полос

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Значения граничных частот	1,4–2,8	2,8–5,6	5,6–11,25	11,25–22,5	22,5–45	45–90

8. Полученные значения параметров вибрации сравнивают с допустимыми по ГОСТ 12.1.012.

Если хотя бы в одной полосе частот защита не обеспечивается, изменяют количество или параметры виброизоляторов, и расчет повторяют.

Пример виброизоляции рабочего места



3. Расчет и проектирование систем виброгашения

Если виброизоляцией добиться необходимой защиты $Z_{T\phi}$ не удаётся, то можно создать дополнительную колебательную систему с массой m и жесткостью q , собственная частота которой f_0 настроена на основную частоту агрегата f , вибрация которого снижается.

Подбором массы m и жесткостью q обеспечивается выполнение условия

$$f_0 = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sqrt{\frac{q}{m}} = f .$$

Порядок расчета

1. Определяют значения частот на границах рабочей зоны по частоте вращения:

$$f_{\text{верх}} = f + \Delta n / 100 ,$$

$$f_{\text{нижн}} = f - \Delta n / 100 .$$

2. Определяют допустимые значения амплитуд виброперемещения $[y]_{\text{верх}}$ и $[y]_{\text{нижн}}$ основания по ГОСТ 12.1.012.

3. Вычисляют значение параметра a :

$$a = [y] / y_{\text{ст}} ;$$

$$a_2 = \frac{[y]_{\text{верх}}}{y_{\text{ст}}} ; \quad a_1 = \frac{[y]_{\text{нижн}}}{y_{\text{ст}}} ,$$

где $y_{\text{ст}}$ – статический прогиб системы, м:

$$y_{\text{ст}} = \frac{g}{(2\pi f_0)^2} .$$

4. Определяют значение параметра $\chi = f/f_0$ на границах рабочей зоны:

$$\chi_1 = \left(\frac{f}{f_0} \right) \left(1 - \frac{\Delta n}{100} \right) ;$$

$$\chi_2 = \left(\frac{f}{f_0} \right) \left(1 + \frac{\Delta n}{100} \right) .$$

5. Рассчитывают значение параметра виброгасителя $\mu = m/M$,

$$\mu = \frac{(\chi_2^2 - \chi_1^2) [1 + a_1 (1 - \chi_1^2)] [1 - a_2 (1 - \chi_2^2)]}{\chi_1^2 \chi_2^2 [a_1 + a_2 + a_1 a_2 (\chi_2^2 - \chi_1^2)]} .$$

6. Рассчитывают значение параметра виброгасителя $f_{\Gamma} = f_{0\Gamma}/f_0$,

$$f_{\Gamma} = \chi_1 \chi_2 \sqrt{\frac{a_1 + a_2 + a_1 a_2 (\chi_2^2 - \chi_1^2)}{a_1 \chi_1^2 + a_2 \chi_2^2 + a_1 a_2 (\chi_2^2 - \chi_1^2)}}.$$

7. Проверяется выполнение условия
 $\mu \leq 0,05 \dots 0,08$.

8. Если условие μ не выполняется, либо изменяют работу системы, либо изменяют параметры виброгасителя, и расчет повторяется.

9. Если условие выполняется, то по полученному μ определяют массу виброгасителя:
 $m = \mu M.$

10. Определяют собственную частоту виброгасителя: $f_{0Г} = f_{Г} f_0.$

11. Определяют потребную жесткость виброгасителя: $q = (2\pi f_{0Г})^2 m.$

Схема виброгасителя

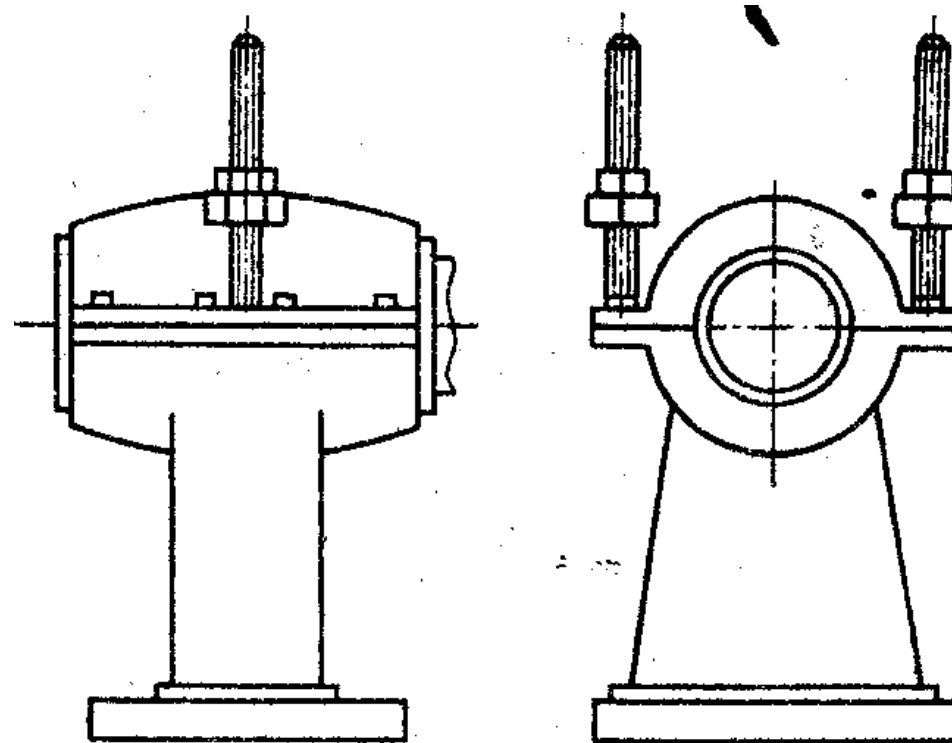


Схема турбоагрегата с динамическим виброгасителем

Тема №5

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Учебные вопросы:

1. Общие принципы защиты от ЭМП.
2. Расчет и проектирование защиты от ЭМП.

1. Общие принципы защиты от ЭМП

Источники ЭМП: индукторы,
трансформаторы,
антенны,
фидерные линии,
ЛЭП всех видов,
генераторы СВЧ.

ЭМП в материальной среде имеет зоны индукции ($r < \lambda/2\pi$) и излучения ($r > \lambda/2\pi$).

ЭМП в материальной среде характеризуется параметрами $y(\omega)$, $z(\omega)$ и Z .

В зоне индукции ЭМП зависит от типа источника излучения и может быть преимущественно электрическим с импедансом

$$Z^E \simeq -\frac{Z}{jkr}$$

и магнитным с импедансом

$$Z^H \simeq \frac{Z}{jkr},$$

где r – расстояние,
 $j = \sqrt{-1}$, $k = \sqrt{-zy}$.

При увеличении расстояния от источника импеданс Z^E уменьшается, а импеданс Z^H растет. Основу защиты от ЭМП составляют явления отражения и поглощения волны. Техническая реализация этих явлений состоит в экранах.

2. Расчет и проектирование защиты от ЭМП

Оценка эффективности экранирования, а значит, и выбор экранов состоят в вычислении функций экранирования T и функций обратной (отраженной) волны R .

При этом применяются обозначения:

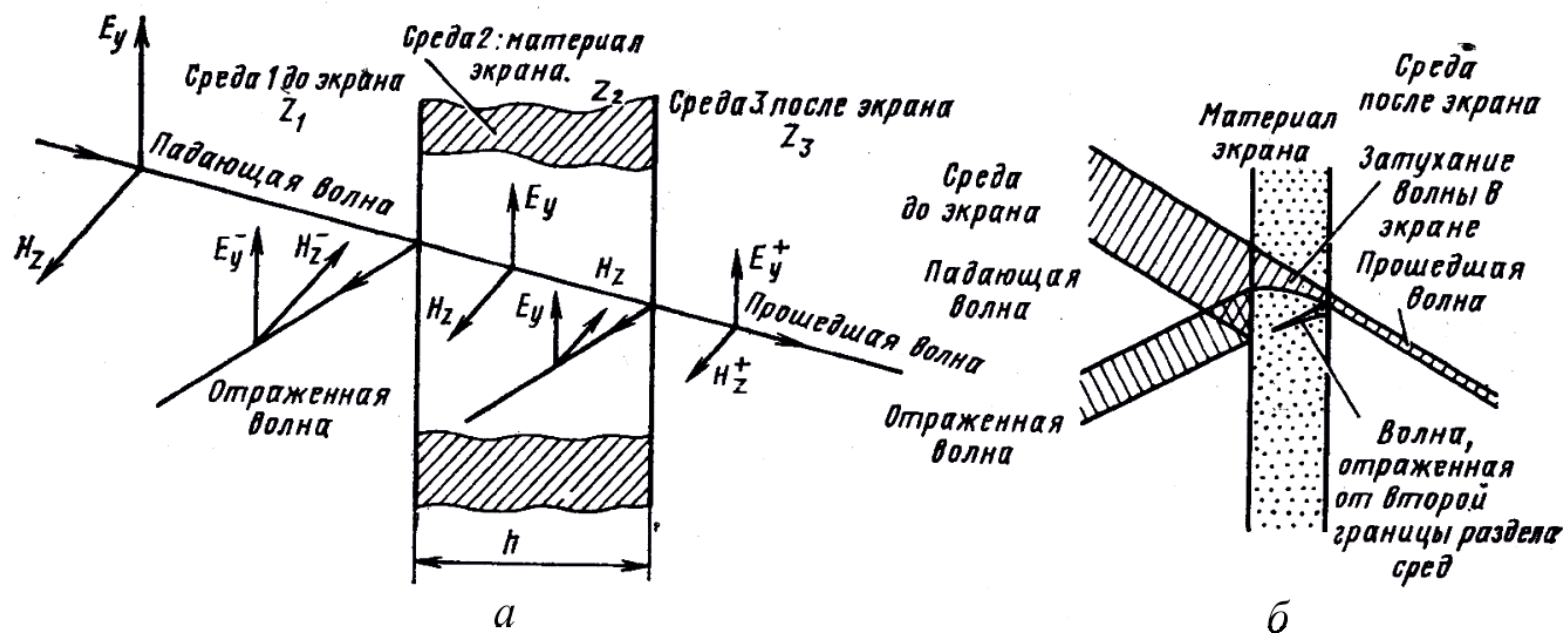
F^+ — составляющая напряжённости прямой волны,

F^- — составляющая напряжённости обратной (отраженной) волны в рассматриваемой точке.

$$T = \frac{4Z_2Z_3}{(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3)\exp(\hat{k}h) - (Z_2 - Z_1)(Z_2 - Z_3)\exp(-\hat{k}h)} ;$$

$$R = \frac{(Z_2 + Z_3)(Z_2 - Z_1)\exp(\hat{k}h) + (Z_1 + Z_2)(Z_3 - Z_2)\exp(-\hat{k}h)}{(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3)\exp(\hat{k}h) - (Z_2 - Z_1)(Z_2 - Z_3)\exp(-\hat{k}h)},$$

где $\hat{k} = -jk$ – коэффициент распространения,
 $\exp(-\hat{k}h)$ – затухание волнового поля в среде
на длине h .



Экранирование электромагнитных волн плоским экраном: *а* – прохождение волны сквозь экран; *б* – примерный амплитудный баланс.

Функции экранирования и обратного действия

Тип экрана: толстенные оболочки

– постоянные ЭМП:

$$T_n = \frac{\mu_* \left(\frac{2n+1}{n} \right)^2}{(1 + \mu_* \bar{n})(\mu_* + \bar{n}) - (\mu_* - 1)^2 \bar{n} \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{2n+1}}$$

– низкочастотные ЭМП

$$T_n = \frac{\frac{2n+1}{n} R_*^{n+2}}{(\bar{n} R_* + 1) \operatorname{ch}(\alpha h) + (\bar{n} P^{-1} + P R_*) \operatorname{sh}(\alpha h)}$$

Тип экрана: сферические оболочки

– постоянные ЭМП

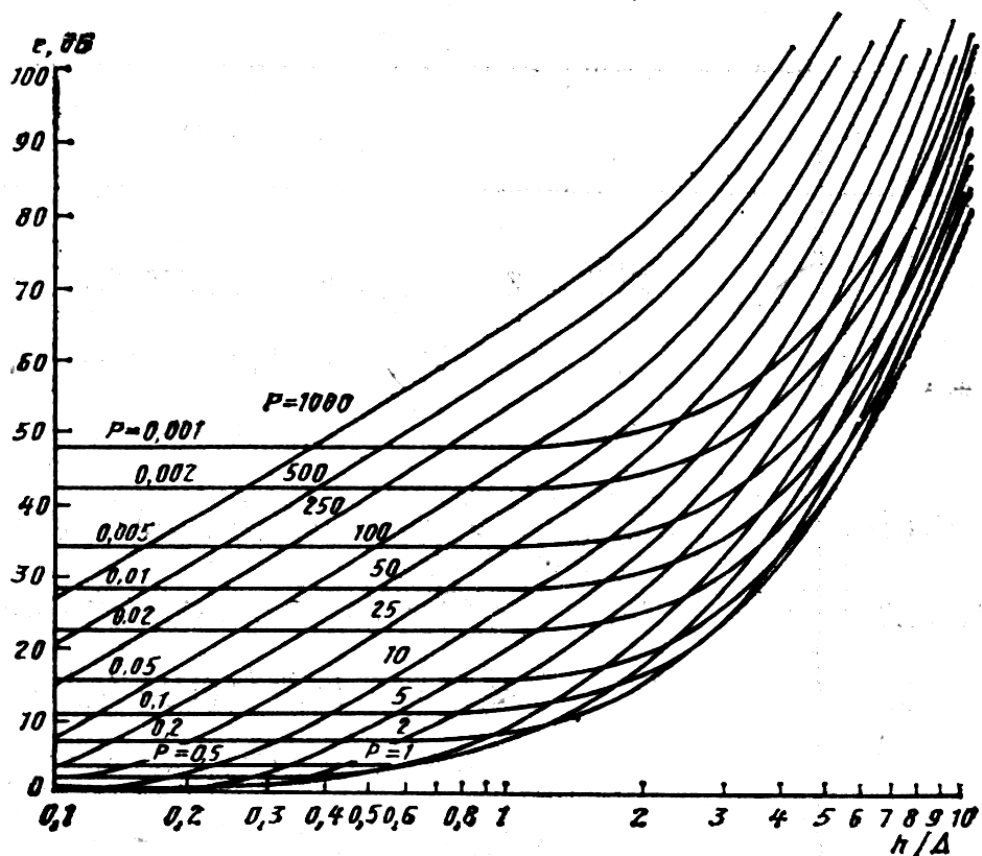
$$R_n = \frac{(\mu_* - 1)\bar{n} \left[\left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{2n+1} - 1 \right] (\mu_* - \bar{n})}{(1 + \mu_* \bar{n})(\mu_* + \bar{n}) - (\mu_* - 1)^2 \bar{n} \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{2n+1}}$$

– низкочастотные ЭМП

$$R_n = \frac{\bar{n} \left[(PR_* - P^{-1}) \operatorname{sh}(\alpha h) - (R_* - 1) \operatorname{ch}(\alpha h) \right]}{(\bar{n}R_* + 1) \operatorname{ch}(\alpha h) + (\bar{n}P^{-1} + PR_*) \operatorname{sh}(\alpha h)}$$

$$R_* = (R_1 + h) / R_1; \quad P = \frac{\alpha}{\mu_* n} R_1; \quad \alpha = \sqrt{\hat{k}^2 + \frac{n(n+1)}{R_1^2}}$$

Оценка эффективности экранирования может быть оценена и по графику для отношений h/Δ , (в диапазоне от 0,1 до 10).



Эффективность экранирования магнитного поля находится в зависимости от отношения толщины экрана к глубине проникновения при разных значениях P .

Материалы для защитных экранов

- *Сплошные металлические листы.*
- *Проволочные сетки.*

Эффективность экранирования при использовании сеток:

$$e = 10lq \left| \frac{Z^E}{Z} \right| + A + 8,686C',$$

где $A = 20 \lg \left(\frac{2\pi}{kr} \right)^{1/3} \left(1 - \frac{1}{2}kl \right)^6,$

r – эквивалентный радиус экрана,

l – наибольший размер отверстия в экране,

$$k = \omega \sqrt{\mu \epsilon}.$$

$$C' = \frac{\pi d}{(s - d)} ,$$

d – диаметр проволоки,

s – шаг сетки.

$$Z = \frac{1}{\sigma h} ,$$

σ – удельная проводимость среды.

$$h = \frac{\pi d^2}{4s} \quad \text{– эквивалентная толщина сетки.}$$

- *Фольга*

Это диамагнитные материалы – алюминий, латунь, цинк толщиной 0,01 – 0,05 мм.

Эффективность экранирования фольгой:

$$e = 10 \lg \left| \frac{Z^E}{Z} \right| + A + 11,9 \text{ .}$$

- *Материалы с металлизированной поверхностью*

Эффективность экранирования металлизированной цинком поверхности

$$e \simeq 97 + 5 \lg Q - 20 \lg f \text{ ,}$$

где Q – удельный расход материала, кг/м²;

f – частота в МГц.

Тема №6

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЫЛИ И ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Учебные вопросы:

1. Общие принципы защиты от пыли и химических веществ.
2. Расчет и проектирование систем местного пылегазоудаления.
3. Расчет и проектирование систем пылеулавливания.

Литература:

Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование : справочник / сост. С. В. Белов [и др.] ; под ред. С. В. Белова. — М.: Машиностроение, 1989. — 365 с.

1. Общие принципы защиты от пыли и химических веществ

Защита $Z_{тф}$ по мощности источника опасности по пыли и химическим веществам – это применение беспы-левых технологических процессов и процессов, обеспечивающих отсутствие химических веществ в атмосфере.

Однако большая часть сегодняшних технологических процессов этими свойствами НЕ ОБЛАДАЕТ. Поэтому необходима защита по расстоянию $Z_{тр}$ – т.е. удаление пыли и химических веществ от человека.

Реализация этого принципа возможна путем местной вентиляции непосредственно от источников пыли и газовыделения.

При проектировании местной вентиляции необходимо руководствоваться следующими положениями:

- элементы местной вентиляции должны составлять единое целое с конструкцией технологического аппарата и не мешать проведению технологического процесса;
- *всасывающее отверстие должно быть максимально приближено к источнику выделения вредных веществ;*
- размеры приемного отверстия должны быть равными или чуть больше размера подтекающей струи;
- *зону действия местной вентиляции необходимо максимально ограничить экранами, ширмами и т.п.;*
- при определении потока выделения вредных веществ под действием вентиляции необходимо следить, чтобы она не проходила через зону дыхания работающего.

2. Расчет и проектирование систем местного пыле- и газоудаления

Расчет вытяжных зонтов.

Исходные данные:

- размеры источника выделения вредных веществ r , м, или $2a \times 2b$;
- скорость разряженной струи U_0 , м/с;
- высота расположения зонта h , м;
- производительность источника по газовым выбросам G , мг/с.

Последовательность:

1. Вычисляется осевая скорость

$$U_m = mU_0 \left(\frac{2b}{h} \right)^{0,5}.$$

2. Расход воздуха в струе на уровне всасывания

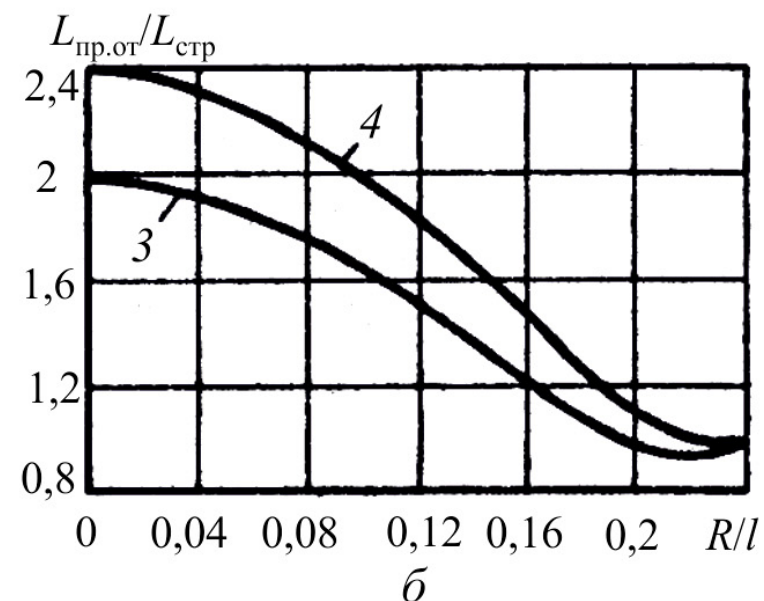
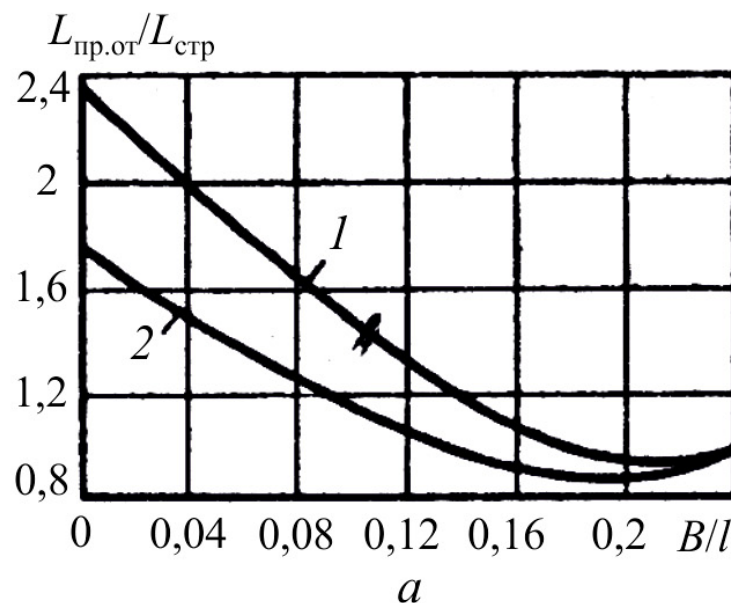
$$L_{\text{стр}} = 0,205 U_m h l.$$

3. Определяется поправочный коэффициент, учитывающий подвижность воздуха в помещении,

$$k = 1 + \left(3 - \frac{F}{F_{\text{стр}}} \right) \frac{\omega}{U_m},$$

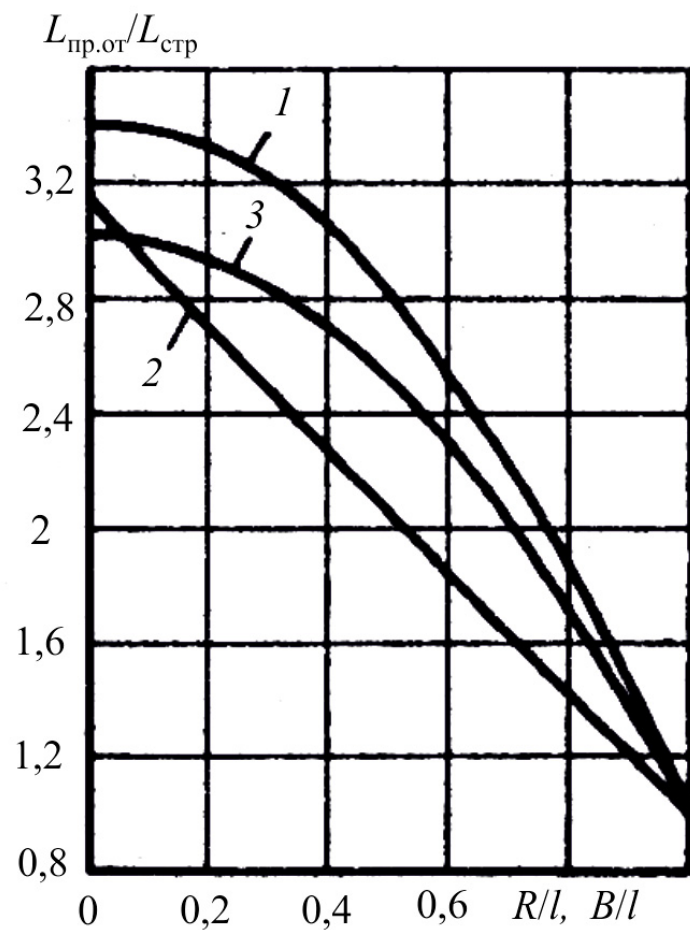
где F – площадь всасывающего отверстия,
 $F_{\text{стр}}$ – площадь сечения струи,
 ω – скорость движения воздуха в помещении.

4. По графикам определяют относительный предельный расход отсоса $L_{\text{пр. от}}$.



Относительный предельный расход отсоса, улавливающего
приточную струю:

a – щелевой отсос; $б$ – круглый отсос.



Относительный предельный расход
отсоса, улавливающего
конвективную струю:
 1 – круглый отсос в виде
патрубка; 2 – щелевой отсос в
стенке; 3 – круглый отсос в
стенке.

5. Вычисляют предельный расход отсоса, обеспечивающий полное улавливание струи,

$$L_{\text{пред}} = kL_{\text{стр}}L_{\text{пр от}} \quad .$$

6. Находят предельную (максимальную) $C_{\text{пред}}$ и относительную предельную избыточную $\Delta C_{\text{пред}}$ концентрации вредных веществ в удалённом воздухе,

$$C_{\text{пред}} = \frac{G}{L_{\text{пред}}} + C_{\text{пр}} \quad ,$$

$$\Delta C_{\text{пред}} = \frac{C_{\text{пред}} - C_{\text{пр}}}{\text{ПДК} - C_{\text{пр}}} \quad ,$$

где $C_{\text{пр}}$ – концентрация вредных веществ в приточном воздухе.

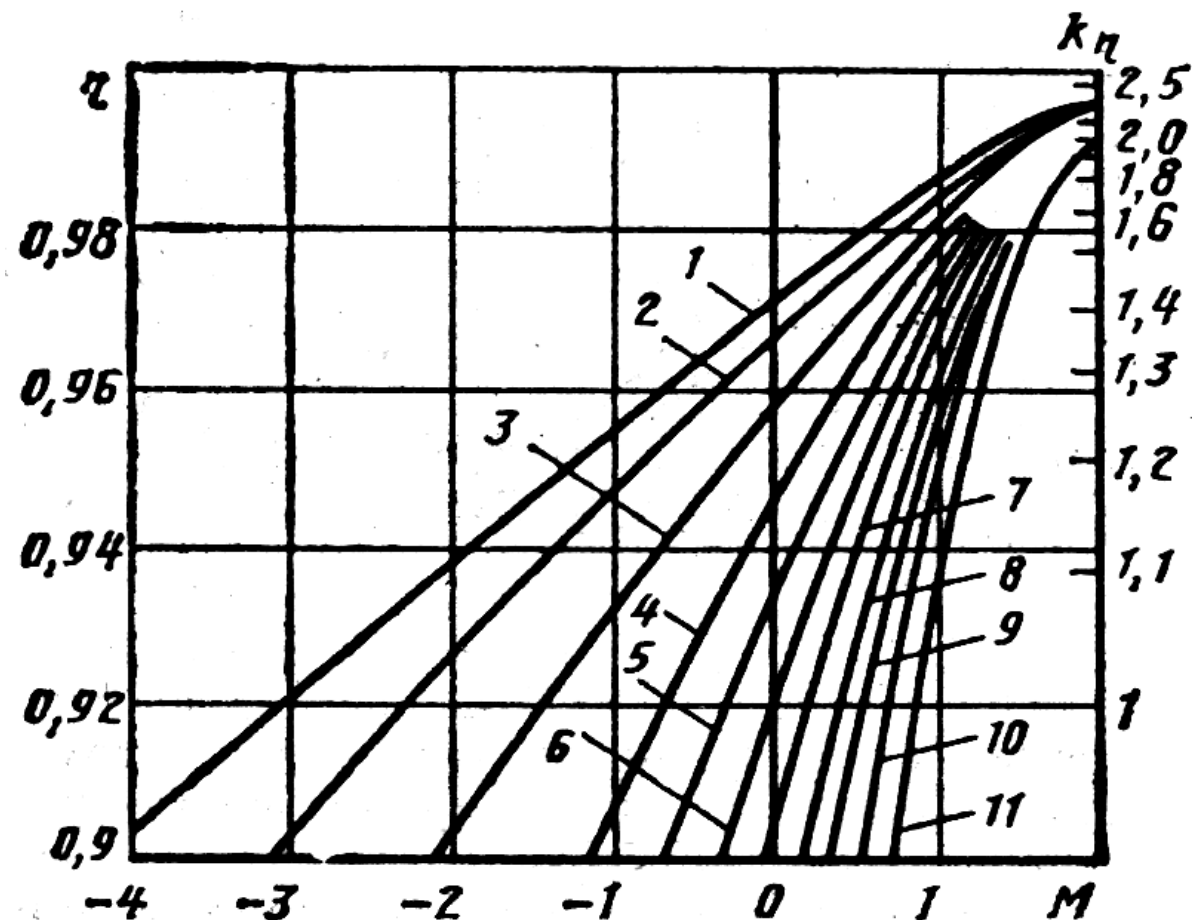
7. Вычисляют значение безразмерного комплекса M по формуле

$$M = \frac{G_p}{G} \Delta C_{\text{пред}} - \frac{L_v}{L_{\text{пр от}}},$$

где G_p – количество примесей, выделяющихся от других рассредоточенных источников;

L_v – расход воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией.

8. По графику находят оптимальную эффективность улавливания вредных веществ η и значение k_η .



Линии на графике (1–11) показывают значения $\Delta C_{\text{пред}}$.

9. Определяют требуемую производительность зонта.

$$L = L_{\text{пр от}} k_{\eta}.$$

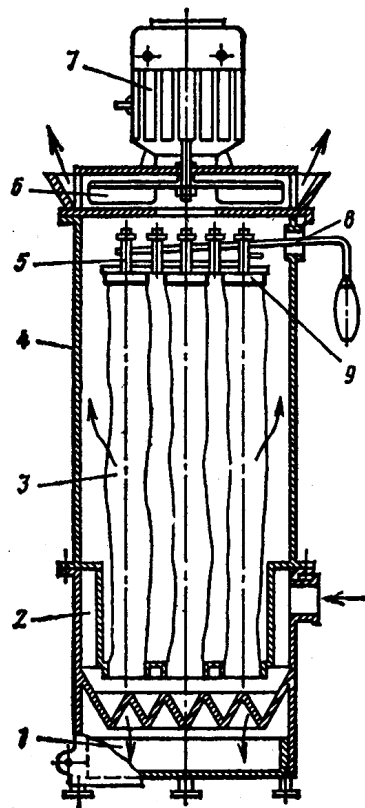
3. Расчет и проектирование систем пылеудаления

Системы пылеудаления очищают рабочую зону, но загрязняют воздух окружающей среды возле цеха, предприятия. В связи с этим целесообразно оснастить каждый вытяжной зонт пылеулавливателем.

Требуемая эффективность очистки η рециркуляционного воздуха определяется из условия, что концентрация каждого вида примесей на выходе из пылеуловителя должна быть не более 0,3 ПДК в рабочей зоне:

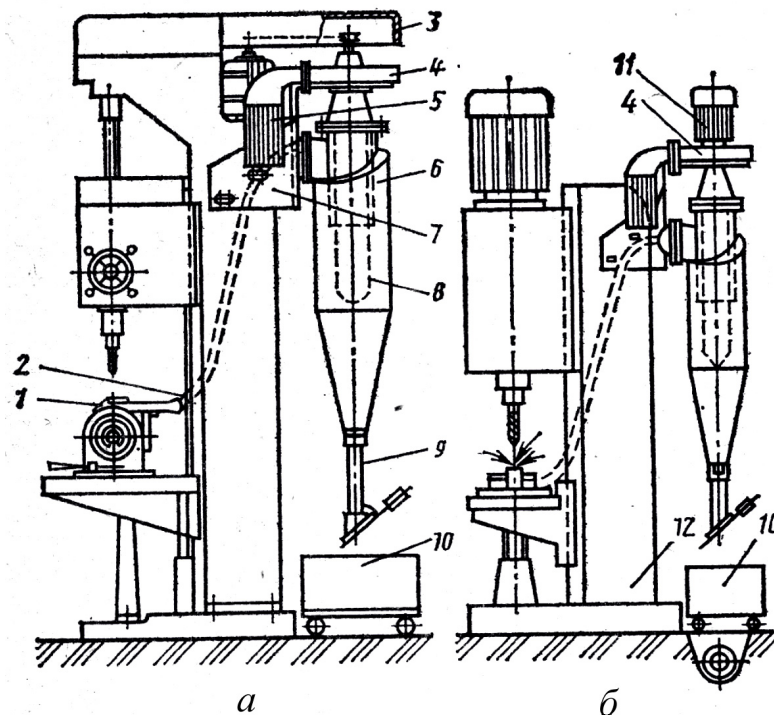
$$\eta \geq \frac{(C_{\text{ВХ}} - 0,3 \text{ ПДК})}{C_{\text{ВХ}}},$$

где $C_{\text{ВХ}}$ – концентрация примесей перед входом в пылеуловитель, мг/м³.



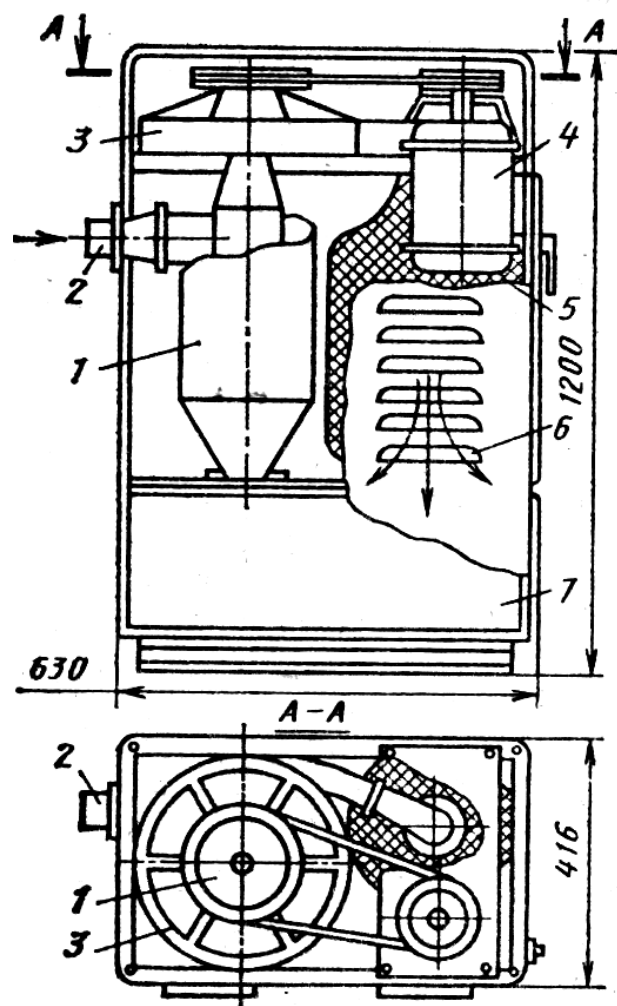
**Вентиляционный
пылеулавливающий агрегат
ЗИЛ-900:**

1 – пылесборник; 2 – циклон;
3 – рукав; 4 – корпус; 5 – механизм
встряхивания рукавов; 6 –
вентилятор; 7 – электродвигатель;
8 – рукоятка встряхивающего
механизма; 9 – крепление рукавов



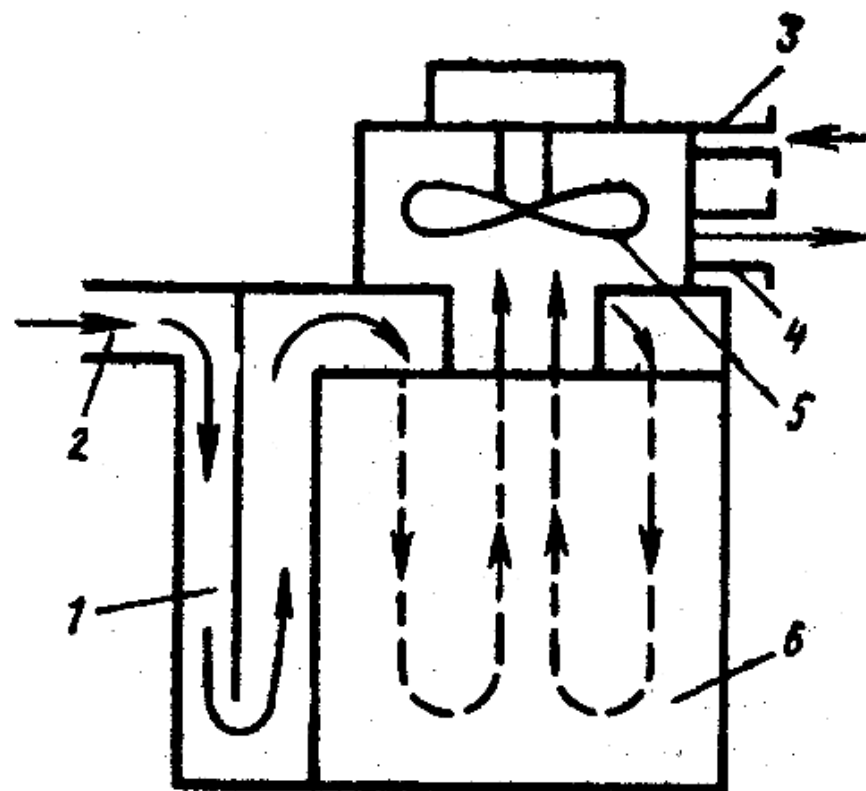
**Схема индивидуальных навесных
пылестружкоотсасывающих агрегатов для
сверлильных станков:**

а – агрегат с приводом от двигателя станка; *б* –
агрегат с индивидуальным двигателем; 1 – щелевой
пылестружкоприемник; 2 – гибкий металлорукав; 3 –
кожух; 4 – вентилятор; 5 – глушитель шума; 6 – циклон;
7 – кронштейн; 8 – рукавный фильтр; 9 – патрубок; 10 –
тележка; 11 – электродвигатель; 12 – конвейер



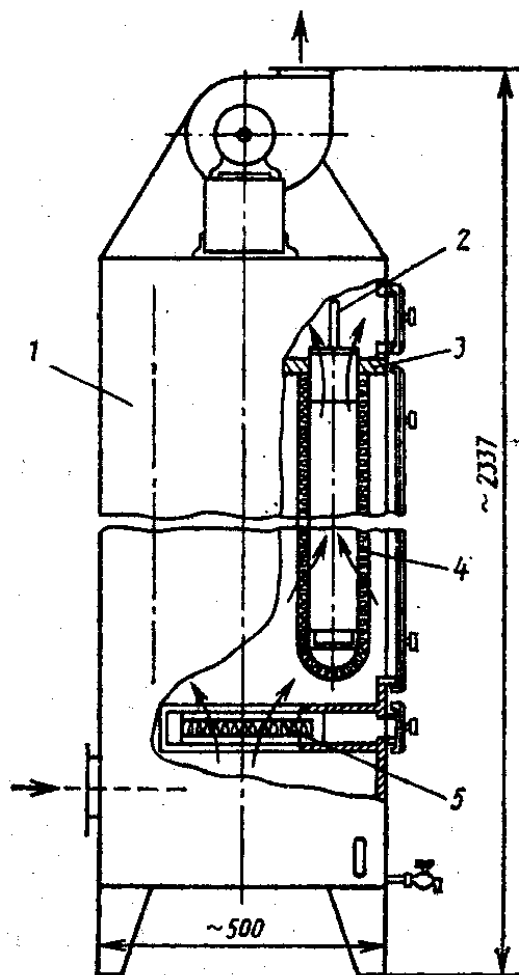
**Схема индивидуального
обеспыливающего агрегата:**

1 – циклон; 2 – входной патрубок;
3 – вентилятор; 4 – электро-
двигатель; 5 – матерчатый фильтр;
6 – жалюзи; 7 – бункер



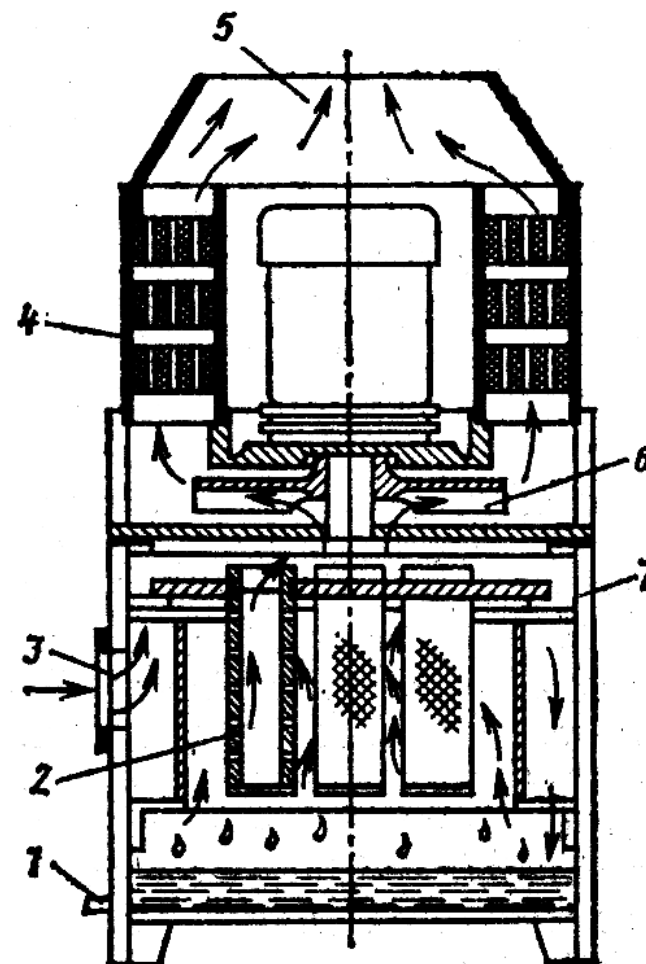
**Схема фильтроагрегата для очистки
воздуха от сварочного аэрозоля:**

1 – искрогаситель; 2 – входной патрубок;
3 – патрубок входа охлаждающего
воздуха; 4 – выходной патрубок; 5 –
вентилятор; 6 – фильтрующий элемент



**Низкоскоростной
туманоуловитель Н-2000:**

1 – прямоугольный корпус; 2 – устройство для крепления патронов в решетке; 3 – решетка; 4 – патрон; 5 – кассета



**Схема агрегата АЭ2-12 для отсоса и
очистки масляного тумана:**

1 – сливной кран; 2 – патроны; 3 – вход воздуха; 4 – поролоновый фильтр-шумогаситель; 5 – выход воздуха; 6 – вентилятор; 7 – корпус

Тема №7

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ПОЖАРА

Учебные вопросы:

1. Общие принципы защиты от пожара.
Методика проектирования систем пожарной сигнализации.
2. Расчет и проектирование автоматических систем пожаротушения.
3. Расчет и проектирование систем газового и порошкового пожаротушения.

Литература:

СП 5.13130.2009. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. – М., 2009.

Пожар – неконтролируемое горение веществ в присутствии окислителя.

1. Общие принципы защиты от пожара

Не допустить возникновения пожара, т.е. соединения в одной точке

Горючего вещества,

+

Окислителя,

+

Источника зажигания.

Следовательно, защита от пожара Z_T должна предусматривать:

- $Z_{T\phi}$ – недопущение соединения горючего вещества, окислителя и источника зажигания;
- Z_{Tp} – недопущение распространения пожара;
- $Z_{T\tau}$ – своевременное удаление людей из зоны пожара, своевременное тушение пожара.

Горючие вещества характеризуются:

- температурой вспышки $t_{\text{всп}}^{\circ}\text{C}$,
- температурой самовоспламенения $t_{\text{св}}^{\circ}\text{C}$,
- нижним концентрационным пределом воспламенения – НКПВ,
- верхним концентрационным пределом воспламенения – ВКПВ.

Показатели пожаровзрывоопасности химических веществ

Химические вещества	М	Характеристика пожаровзрывоопасности	$t_{всп}, ^\circ\text{C}$	$t_{св}, ^\circ\text{C}$	НКПВ, %	ВКПВ, %
Акролеин	56,06	ЛВЖ	-26	234	2,8	31
Амилбензол	148,25	ГЖ	-18	273	1,49	8,7
Аммиак	17,03	ГГ	—	650	15	28
Ацетилен	26,04	ВГ и ГГ	—	335	2,5	81
Бутан	58,12	ГГ	-69	405	1,8	8,5
Гексан	86,177	ЛВЖ	-23	243	1,24	6,9
Глицерин	92,1	ГЖ	198	400	2,6	11,3
Метан	16,04	ГГ	-181	537	5,28	14,1
Пропан	44,096	ГГ	—	470	2,3	9,4

Показатели пожаровзрывоопасности некоторых горючих пылей

Горючее вещество	НКПВ, г/м ³	W_{\min} , мДж	$t_{\text{св}}$, °С	P_{\max} , кПа
Смола формальдегидная	55	10	420	650
Полистирол	25	15	488	720
Полиэтилен	12	30	440	560
Магний	25	10	490	500
Алюминий	10	0,025	470	660
Железо восстановленное	66	80	475	250
Фосфор красный	14	0,05	305	700
Сера	17	–	190	460
Казеин	45	60	–	750
Люминофор зеленый	103	–	385	800

W_{\min} – минимальная энергия зажигания;

P_{\max} – максимальной давление взрыва горючих пылей.

Различные технологические процессы не могут не использовать горючие вещества. Поэтому технологические среды подразделяются [ФЗ №123. Технологический регламент о требованиях пожарной безопасности] на следующие:

- пожароопасные,
- пожаровзрывоопасные,
- взрывоопасные,
- пожаробезопасные.

В зависимости от соответствующих сред все помещения производственные и складские делятся на:

- повышенной взрывопожароопасности – А;
- взрывопожароопасности – Б;
- пожароопасности (В1, В2, В3, В4),
- умеренной пожароопасности – Г;
- пониженной пожароопасности – Д.

2. Методика проектирования систем пожарной сигнализации

Реализация Z_{Tp} производится при проектировании оборудования и технологического процесса.

Для реализации Z_{Tp} необходимо проектировать противопожарные преграды. Их проектирование основывается на знании пределов огнестойкости конструкций, т.е того, что в течение определенного времени при стандартных испытаниях не наступит следующего события:

- 1) потери несущей способности конструкции R ,
- 2) потери целостности E ,
- 3) потери теплоизолирующей способности (I),
- 4) достижения предельной величины теплового потока на нормируемом расстоянии за преградой.

Строительные конструкции зданий, сооружений и строений в зависимости от их способности сопротивляться воздействию пожара имеют следующие пределы огнестойкости:

Ненормируемый; не менее 15 мин; не менее 30 мин;
не менее 45 мин; не менее 60 мин; не менее 90 мин;
не менее 120 мин; не менее 150 мин; не менее
180 мин; не менее 240 мин; не менее 360 мин.

Противопожарные преграды подразделяются на следующие виды:

- противопожарные стены,
- противопожарные перегородки,
- противопожарные перекрытия,
- противопожарные разрывы,
- противопожарные занавесы, шторы и экраны,
- противопожарные водяные завесы,
- противопожарные минерализованные полосы.

Выбор противопожарной преграды зависит от температуры в зоне пожара. Температура пламени (°С) некоторых веществ и пожароопасных операций:

ЛВЖ и ГЖ	—	880
Древесина	—	1000
Природные и сжиженные газы		1200
Газовая сварка металла	—	3150
Газовая резка металла	—	1350
Горящая спичка	—	620–640
Сигарета	—	420–460

Зная температуру пламени и размер перекрываемого места, можно определить, из какого материала необходимо сделать преграду.

Если в результате пожара возможен взрыв, т.е. в помещении находятся взрывоопасные вещества, необходимо рассчитать давление взрыва,

$$\Delta P = \frac{mHP_0Z}{V_{\text{св}}\rho_{\text{в}}c_{\text{в}}T_0} \frac{1}{k},$$

где m — масса горючего вещества; H — теплота сгорания, Дж/кг; $\rho_{\text{в}}$ — плотность воздуха до взрыва при начальной температуре T_0 ; $V_{\text{св}}$ — свободный (от оборудования) объем помещения; $c_{\text{в}}$ — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); P_0 — начальное давление, кПа; Z — коэффициент участия горючей среды во взрыве; k — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения.

Противопожарные преграды необходимо выбрать из условий прочности и устойчивости к действию ΔP .

Для реализации $Z_{T\tau}$ необходимо иметь сигнализацию.

Системы сигнализации могут быть:

- совмещенными с автоматическими системами пожаротушения,
- ни с чем не совмещенными,
- общими (для всего здания):
 - местными (только для конкретного помещения),
 - с контролем о состоянии оборудования сигнализации,
 - без контроля оборудования сигнализации.

Чувствительным элементом пожарной сигнализации является извещатель. **Пожарный извещатель** – устройство для формирования сигнала о пожаре.

Извещатели могут быть:

- дымовые,
- тепловые,
- пламени,
- газовые.

Точечный **дымовой** извещатель выбирается, если возникновение пожара характеризуется появлением дыма.

Извещатель **пламени** применяют, если в зоне контроля начало пожара связано с появлением открытого огня, пламени или перегретых (свыше 600 °С) поверхностей. Спектральная чувствительность извещателя должна соответствовать спектру пламени.

Тепловые извещатели применяют, если в зоне контроля на начальной стадии пожара предполагается большое тепловыделение.

Газовые пожарные извещатели применяют, если в зоне контроля на начальной стадии пожара предполагается выделение определенного вида газа в концентрациях, способных вызвать срабатывание извещателя.

Возможна комбинация извещателей, или комбинированные извещатели.

Суммарное время обнаружения пожара и расчетное время эвакуации людей не должно превышать времени поступления предельно допустимых значений опасных факторов пожара.

Точечные пожарные извещатели устанавливают под перекрытием.

В каждом помещении устанавливают не менее 2 извещателей, включаемых по схеме «ИЛИ».

В системе пожарной сигнализации, кроме извещателей, имеются:

- приборы приема-контрольные,
- приборы управления,
- линии связи и управления (шлейфы).

В качестве шлейфов в пожарной сигнализации могут применяться как проводные, так и беспроводные каналы связи.

Если шлейфы сигнализации не совместимы с управлением автоматическими системами пожаротушения, то они могут быть выполнены проводами связи (с напряжением до 60 В) с радиальной разводкой.

Если система сигнализации совмещена с системой управления автоматическими устройствами пожаротушения, то её необходимо выполнять отдельными линиями, как правило, с напряжением 220 В.

3. Расчет и проектирование автоматических систем пожаротушения

Методика расчета параметров АУП при поверхностном пожаротушении водой и пеной низкой кратности

1. Подбор параметров АУП

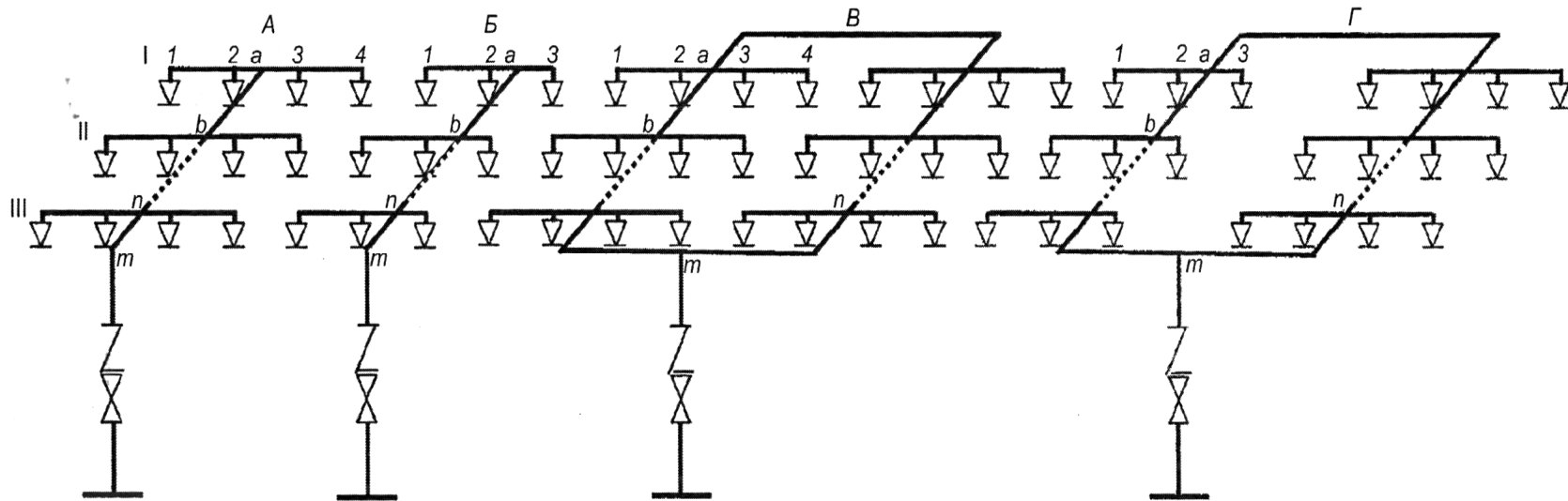
Выбираемый параметр:	Что учитывается при выборе:
вид огнетушащего вещества	класс пожара
тип установки пожаротушения (спринклерная, дренчерная, спринклерно-дренчерная,)	пожароопасность, скорость распространения пламени
тип спринклерной установки пожаротушения (водозаполненная или воздушная)	температура эксплуатации АУП
температура срабатывания спринклерных оросителей	температура окружающей среды в зоне расположения спринклерных оросителей
тип оросителя	расход огнетушащего вещества (ОТВ), интенсивность орошения, максимальная площадь орошения, архитектурно-планировочные решения защищаемого объекта

2. Намечаются трассировка трубопроводной сети и план размещения оросителей

3. Проводится расчет распределительной сети

Компоновка оросителей на распределительном трубопроводе АУП выполняется по симметричной, несимметричной, симметричной кольцевой или несимметричной кольцевой схеме (см. рисунок).

Схемы распределительной сети спринклерной или дренчерной АУП



A – секция с симметричным расположением оросителей; *Б* – секция с несимметричным расположением оросителей; *B* – секция с симметричным кольцевым питающим трубопроводом; *Г* – секция с несимметричным кольцевым питающим трубопроводом; I, II, III – рядки распределительного трубопровода; *a, b, ..., n, m* – узловые расчетные точки

- Определяют расчетный расход воды (раствора пенообразователя) через диктующий ороситель

$$q_1 = 10K\sqrt{P},$$

где q – расход ОТВ через диктующий ороситель, л/с;

K – коэффициент производительности оросителя, принимаемый по технической документации на изделие, л/(с·МПа^{0,5});

P – давление перед оросителем, МПа.

Расход первого диктующего оросителя 1 является расчетным значением Q_{1-2} на участке L_{1-2} между первым и вторым оросителями.

- Определяют диаметр трубопровода на участке L_{1-2} :

$$d_{1-2} = 1000 \sqrt{\frac{4Q_{1-2}}{\pi \mu v}},$$

где d_{1-2} – диаметр между первым и вторым оросителями трубопровода, мм;

Q_{1-2} – расход ОТВ, л/с;

μ – коэффициент расхода;

v – скорость движения воды, м/с (не должна превышать 10 м/с).

Диаметр увеличивают до ближайшего номинального значения по ГОСТ 28338.

- Определяют потери давления P_{1-2} на участке L_{1-2} :

$$P_{1-2} = \frac{Q_{1-2}^2 L_{1-2}}{100 K_T} \quad \text{или} \quad P_{1-2} = \frac{A Q_{1-2}^2 L_{1-2}}{100},$$

где Q_{1-2} – суммарный расход ОТВ первого и второго оросителей, л/с;

K_T – удельная характеристика трубопровода, л⁶/с²;

A – удельное сопротивление трубопровода, зависящее от диаметра и шероховатости стенок, с²/л⁶ (см. таблицы).

Удельное сопротивление при различной степени шероховатости труб

Диаметр		Удельное сопротивление A , $\text{с}^2/\text{л}^6$		
Номинальный DN	Расчетный, мм	Наибольшая шерохова- тость	Средняя шерохова- тость	Наименьшая шерохова- тость
20	20,25	1,643	1,15	0,98
25	26	0,4367	0,036	0,261
32	34,75	0,09386	0,0656	0,059
40	40	0,04453	0,0312	0,0277
50	52	0,01108	0,0078	0,00698
70	67	0,002893	0,00202	0,00187
80	79,5	0,001168	0,00082	0,000755
100	105	0,0002674	0,000187	–

Удельная гидравлическая характеристика трубопроводов

Тип трубы	Номинальный диаметр DN	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Удельная характеристика трубопровода $K_T, \times 10^{-6} \text{ л}^6/\text{с}^2$
Стальные электросварные (ГОСТ 10704—91)	15	18	2,0	0,0755
	20	25	2,0	0,75
	40	45	2,2	28,7
	50	57	2,5	110
	100	114	2,8	5872
	125	140	3,2	18 070
	150	152	3,2	28 690
	200	219*	4,0*	209 900
	300	325*	4,0*	1 856 000
Стальные водогазопроводные (ГОСТ 3262—75)	15	21,3	2,5	0,18
	20	26,8	2,5	0,926
	40	48	3,0	34,5
	50	60	3,0	135
	100	114	4,0	5205
	125	140	4,0	16 940
	150	165	4,0	43 000

- Определяют давление у оросителя 2 и расход оросителя 2:

$$P_2 = P_1 + P_{1-2} \quad , \quad q_2 = 10K\sqrt{P_2} \quad .$$

4. Гидравлический расчет АУП

- Расчет спринклерных АУП проводится из условия

$$Q_H \leq Q_c \quad ,$$

где Q_H – нормативный расход спринклерной АУП согласно СП 5.13130;

Q_c – фактический расход спринклерной АУП.

- Количество оросителей, обеспечивающих фактический расход Q_c спринклерной АУП:

$$n \geq \frac{S}{\Omega} ,$$

где n – минимальное количество спринклерных оросителей, обеспечивающих фактический расход Q_c ;

S – минимальная площадь орошения;

Ω – условная расчетная площадь, защищаемая одним оросителем:

$$\Omega = L^2 ,$$

L – расстояние между оросителями.

- Диаметры отдельных участков распределительных трубопроводов можно выбирать по числу установленных на нем оросителей (см. таблицу).

Ориентировочная взаимосвязь между наиболее часто используемыми диаметрами труб распределительных рядков, давлением и числом установленных спринклерных или дренчерных оросителей

Номинальный диаметр трубы, DN	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150
Количество оросителей при давлении 0,5 МПа и более	1	3	5	9	18	28	46	80	150	>150
Количество оросителей при давлении до 0,5 МПа	—	2	3	5	10	20	36	75	140	>140

Поскольку давление у каждого оросителя различно (самое низкое давление у диктующего оросителя), необходимо учитывать расход каждого из общего количества N оросителей.

- Суммарный расход воды дренчерной АУП

$$Q_{\text{д}} = \sum_{n=1}^n q_n ,$$

где $Q_{\text{д}}$ – расчетный расход дренчерной АУП, л/с;

q_n – расход n -го оросителя, л/с;

n – количество оросителей, расположенных в орошаемой зоне.

- Расход спринклерной АУП с водяной завесой:

$$Q_{\text{АУП}} = Q_{\text{с}} + Q_{\text{з}} ,$$

где $Q_{\text{с}}$ – расход спринклерной АУП;
 $Q_{\text{з}}$ – расход водяной завесы.

- Расход для совмещенных противопожарных водопроводов (внутреннего противопожарного водопровода (ВПВ) и автоматических установок пожаротушения (АУП):

$$Q = Q_{\text{АУП}} + Q_{\text{ВПВ}} .$$

- Требуемое давление пожарного насоса:

$$P_{\text{н}} = P_{\text{г}} + P_{\text{в}} + \sum P_{\text{м}} + P_{\text{уу}} + P_{\text{д}} + Z - P_{\text{вх}} = P_{\text{тр}} - P_{\text{вх}} ,$$

где $P_{\text{н}}$ – требуемое давление пожарного насоса, МПа;

$P_{\text{г}}$ – потери давления на горизонтальном участке трубопровода АБ, МПа;

$P_{\text{в}}$ – потери давления на вертикальном участке трубопровода БД, МПа;

$P_{\text{м}}$ – потери давления в местных сопротивлениях (фасонных деталях Б и Д), МПа;

$P_{\text{уу}}$ – местные сопротивления в узле управления (сигнальном клапане, задвижках, затворах), МПа;

$P_{\text{д}}$ – давление у диктующего оросителя, МПа;

Z – пьезометрическое давление (геометрическая высота диктующего оросителя над осью пожарного насоса), МПа;
 $Z = H/100$;

$P_{\text{вх}}$ – давление на входе пожарного насоса, МПа,

$P_{\text{тр}}$ – давление требуемое, МПа.

- Гидравлические потери давления в диктующем питающем трубопроводе определяется по формулам:

$$\Delta P_i = \frac{Q^2 L_i}{100 K_T} , \quad \Delta P_i = \frac{A Q^2 L_i}{100} ,$$

где ΔP_i – гидравлические потери давления на участке L_i , МПа;

Q – расход ОТВ, л/с;

K_T – удельная характеристика трубопровода на участке L_i , л⁶/с²;

A – удельное сопротивление трубопровода на участке L_i , зависящее от диаметра и шероховатости стенок, с²/л⁶.

- Потери давления в узлах управления установок:

- в спринклерном $P_{уу_с} = \xi_{уу_с} \gamma Q^2 = (\xi_{кс} + \xi_з) \gamma Q^2,$

- в дренчерном $P_{уу_д} = \xi_{уу_д} \gamma Q^2 = (\xi_{кд} + 2\xi_з) \gamma Q^2,$

где $\xi_{уу_с}, \xi_{уу_д}, \xi_{кс}, \xi_{кд}, \xi_з$ – коэффициенты потерь давления соответственно в спринклерном и дренчерном узле управления, в спринклерном и дренчерном сигнальном клапане и в запорном устройстве (принимается по технической документации на узел управления в целом или на каждый сигнальный клапан, затвор или задвижку индивидуально);

γ – плотность воды, кг/м³;

Q – расчетный расход воды или раствора пенообразователя через узел управления, м³/ч.

В приближенных расчетах местные сопротивления принимают равными 20 % сопротивления сети трубопроводов; в пенных АУП при концентрации пенообразователя до 10 % вязкость раствора не учитывают.

Расчет ведут таким образом, чтобы давление у узла управления не превышало 1 МПа, если иное не оговорено в технических условиях.

С учетом выбранной группы объекта защиты принимают продолжительность подачи огнетушащего вещества.

Продолжительность работы внутреннего противопожарного водопровода, совмещенного с АУП, следует принимать равной времени работы АУП.

Методика расчета параметров установок пожаротушения высокократной пеной

1. Определяется расчетный объем V , м³, защищаемого помещения или объем локального пожаротушения.
2. Выбираются тип и марка генератора высокократной пены и устанавливается его производительность по раствору пенообразователя q , дм³/мин.
3. Определяется расчетное количество генераторов высокократной пены:

$$n = \frac{aV \cdot 10^3}{q \tau K} ,$$

где a – коэффициент разрушения пены;
 τ – максимальное время заполнения пеной объема защищаемого помещения, мин (не более 10 мин);
 K – кратность пены.

Значение коэффициента a определяется по формуле

$$a = K_1 K_2 K_3,$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий усадку пены, принимается равным 1,2 при высоте помещения до 4 м и 1,5 – при высоте помещения до 10 м; при высоте помещения свыше 10 м определяется экспериментально;

K_2 – учитывает утечки пены, при отсутствии открытых проемов принимается равным 1,2, при наличии открытых проемов определяется экспериментально;

K_3 – учитывает влияние дымовых газов на разрушение пены, для учета влияния продуктов горения углеводородных жидкостей значение коэффициента принимается равным 1,5, для других видов пожарной нагрузки определяется экспериментально.

4. Определяется производительность системы по раствору пенообразователя, $\text{м}^3\text{с}^{-1}$:

$$Q = \frac{n q}{60 \cdot 10^3} \cdot$$

5. По технической документации устанавливается объемная концентрация пенообразователя в растворе c , %.

6. Определяется расчетное количество пенообразователя, м^3 , по формуле

$$V_{\text{пен}} = c Q \tau \cdot 10^{-2} \cdot 60.$$

4. Расчет и проектирование систем газового и порошкового пожаротушения

Методика расчета массы газового огнетушащего вещества (ГОТВ) для установок газового пожаротушения при тушении объемным способом:

- Определение расчетной массы ГОТВ M_r , которая должна храниться в установке:

$$M_r = K_1 [M_p + M_{тр} + M_6 n] ,$$

где M_r – масса ГОТВ, предназначенная для создания в объеме помещения огнетушащей концентрации при отсутствии искусственной вентиляции воздуха, определяется по формулам:

– для ГОТВ – сжиженных газов, за исключением двуокиси углерода:

$$M_p = V_p \rho_1 (1 + K_2) \frac{C_H}{100 - C_H},$$

– для ГОТВ – сжатых газов и двуокиси углерода:

$$M_p = V_p \rho_1 (1 + K_2) \ln \frac{C_H}{100 - C_H},$$

где V_p – расчетный объем защищаемого помещения, м³;
 K_1 – коэффициент, учитывающий утечки газового огнетушащего вещества из сосудов;
 K_2 – коэффициент, учитывающий потери газового огнетушащего вещества через проемы помещения;

ρ_1 – плотность газового огнетушащего вещества с учетом высоты защищаемого объекта относительно уровня моря для минимальной температуры в помещении T_m , кг/м³, определяется по формуле

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{T_0}{T_m} K_3 \quad ,$$

ρ_0 – плотность паров газового огнетушащего вещества при температуре $T_0 = 293$ К (20 °С) и атмосферном давлении 101,3 кПа;

T_0 – минимальная температура воздуха в защищаемом помещении, К;

K_3 – поправочный коэффициент, учитывающий высоту расположения объекта относительно уровня моря (см. приложение Д СП 5.13130);

C_n – нормативная объемная концентрация, %
(см. приложение Д СП 5.13130).

Масса остатка ГОТВ в трубопроводах $M_{тр}$, кг, определяется по формуле

$$M_{тр} = V_{тр} \rho_{ГОТВ} ,$$

где V – объем всей трубопроводной разводки установки, м³;

$\rho_{ГОТВ}$ – плотность остатка ГОТВ при давлении, которое имеется в трубопроводе после окончания истечения массы газового огнетушащего вещества M_p в защищаемое помещение;

$M_6 n$ – произведение остатка ГОТВ в модуле Мб, который принимается по ТД на модуль, кг, на количество модулей в установке n .

▪ **Определение коэффициентов**

Коэффициент, учитывающий утечки газового огнетушащего вещества из сосудов $K_1 = 1,05$.

Коэффициент, учитывающий потери газового огнетушащего вещества через проемы помещения,

$$K_2 = \Pi \delta \tau_{\text{под}} \sqrt{H},$$

где H – высота помещения, м;

$\tau_{\text{под}}$ – нормативное время подачи ГОТВ в защищаемое помещение, с;

Π – параметр, учитывающий расположение проемов по высоте защищаемого помещения, $\text{м}^{0,5} \text{с}^{-1}$:

Значения параметров Π

0,65	при расположении проемов одновременно в нижней ($0 - 0,2$) H и верхней зоне помещения ($0,8 - 1,0$) V_1 или одновременно на потолке и на полу помещения, причем площади проемов в нижней и верхней части примерно равны и составляют половину суммарной площади проемов
0,1	при расположении проемов только в верхней зоне ($0,8 - 1,0$) H защищаемого помещения (или на потолке)
0,25	при расположении проемов только в нижней зоне ($0 - 0,2$) V_1 защищаемого помещения (или на полу)
0,4	при примерно равномерном распределении площади проемов по всей высоте защищаемого помещения и во всех остальных случаях

$$\delta = \frac{\sum F_{\text{н}}}{V_{\text{р}}} \quad \text{— параметр негерметичности помещения, м}^{-1},$$

где $\sum F_{\text{н}}$ — суммарная площадь проемов, м².

Тушение пожаров подкласса А1 (кроме тлеющих материалов) следует осуществлять в помещениях с параметром негерметичности не более $0,001 \text{ м}^{-1}$.

Определяется значение массы M_p для тушения пожаров подкласса А1:

$$M_p = K_4 M_{p-\text{гепт}}$$

где $M_{p-\text{гепт}}$ – значение массы M_p для нормативной объемной концентрации C_n при тушении н-гептана;

K_4 – коэффициент, учитывающий вид горючего материала.

Значения коэф- фициента K_4	1,3	для тушения бумаги, гофрированной бумаги, картона, тканей и т.п. в кипах, рулонах или папках
	2,25	для помещений с этими же материалами, в которые доступ пожарных после окончания работы АУГП исключен
	1,2	для остальных пожаров подкласса А1, кроме тлеющих материалов

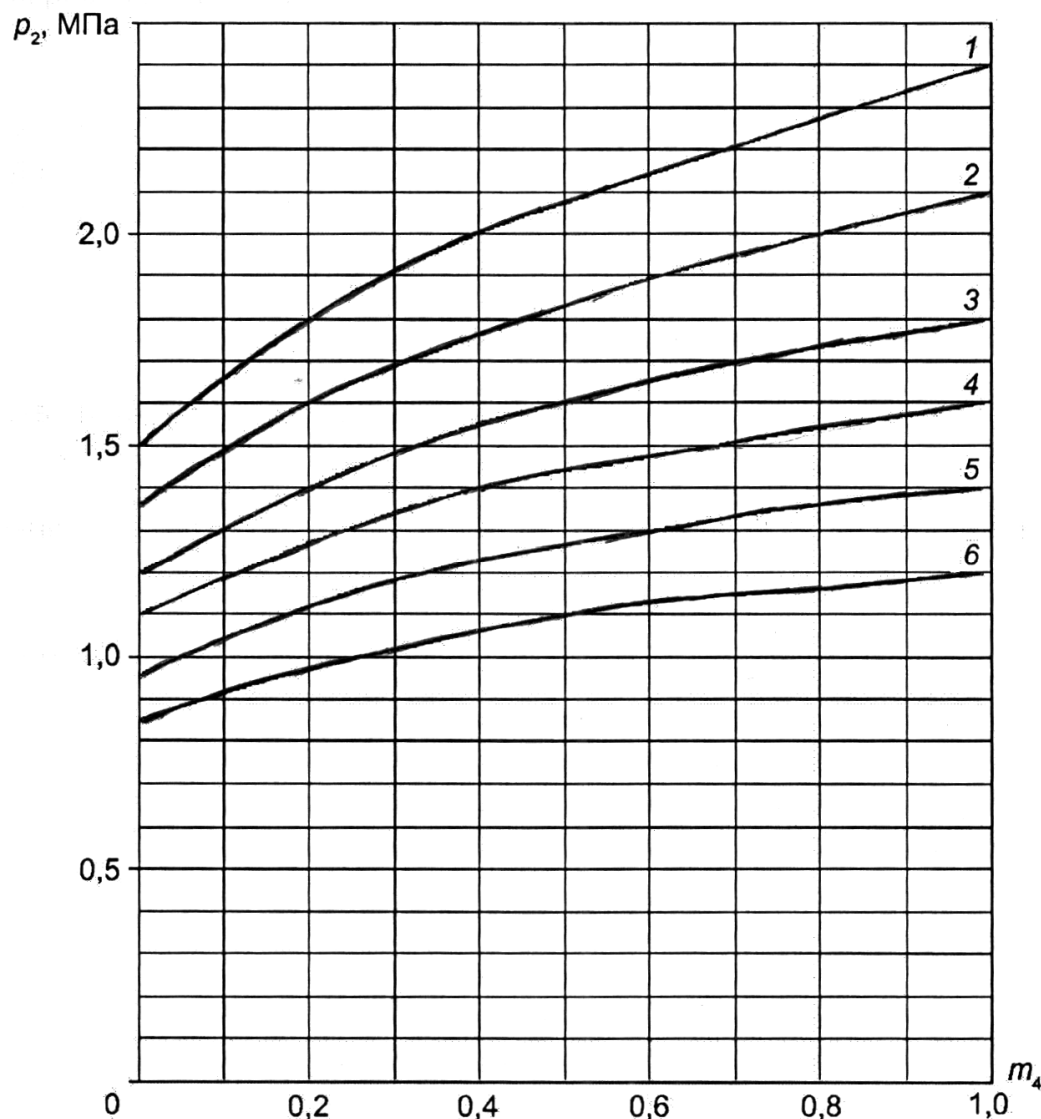
Методика гидравлического расчета установок углекислотного пожаротушения низкого давления

1. Определяется среднее за время подачи двуокиси углерода давление в изотермическом резервуаре P_m , МПа:

$$P_m = 0,5(P_1 + P_2) ,$$

где P_1 – давление в резервуаре при хранении двуокиси углерода, МПа;

P_2 – давление в резервуаре в конце выпуска расчетного количества двуокиси углерода, МПа, определяется по рисунку.



- 1 – при $P_1 = 2,4$ МПа;
- 2 – при $P_1 = 2,1$ МПа;
- 3 – при $P_1 = 1,8$ МПа;
- 4 – при $P_1 = 1,6$ МПа;
- 5 – при $P_1 = 1,4$ МПа;
- 6 – при $P_1 = 1,2$ МПа

Зависимость давления P_2 в изотермическом резервуаре в конце выпуска расчетного количества двуокиси углерода m от относительной массы двуокиси углерода m_4

2. Определяется средний расход двуокиси углерода Q_m , кг/с:

$$Q_m = \frac{m}{t},$$

где m – расчетное количество двуокиси углерода, кг;
 t – нормативное время подачи двуокиси углерода, с.

3. Определяется внутренний диаметр питающего (магистрального) трубопровода d_i , м:

$$d_i = 9,6 \cdot 10^{-3} \left[(k_4)^{-2} (Q_m)^2 l_1 \right]^{0,19},$$

где k_4 – множитель, определяется по таблице;
 l_1 – длина питающего (магистрального) трубопровода по проекту, м.

P_m , МПа	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4
Множитель k_4	0,68	0,79	0,85	0,92	1,0	1,9

4. Рассчитывается среднее давление в питающем (магистральном) трубопроводе в точке ввода его в защищаемое помещение:

$$P_3(P_4) = 2 + 0,568 \ln \left[1 - \frac{2 \cdot 10^{-11} (Q_m)^2 l_2}{(d_i)^{5,25} (k_4)^2} \right],$$

где l_2 – эквивалентная длина трубопроводов от изотермического резервуара до точки, в которой определяется давление, м:

$$l_2 = l_1 + 69 d_i^{1,25} \varepsilon_1,$$

где ε_1 – сумма коэффициентов сопротивления фасонных частей трубопроводов.

5. Среднее давление рассчитывают по формуле:

$$P'_m = 0,5(P_3 + P_4),$$

где P_3 – давление в точке ввода питающего (магистрального) трубопровода в защищаемое помещение, МПа;

P_4 – давление в конце питающего (магистрального) трубопровода, МПа.

Давление на насадках должно составлять не менее 1,0 МПа.

6. Определяется средний расход через насадок Q'_m , кг·с⁻¹,

$$Q'_m = 4,1 \cdot 10^3 \mu k_5 A_3 \sqrt{\exp(1,76P'_m)},$$

где μ – коэффициент расхода через насадок;

A_3 – площадь выпускного отверстия насадка, м²;

k_5 – коэффициент, определяемый по формуле

$$k_5 = 0,93 + \frac{0,03}{1,025 - 0,5P'_m}.$$

7. Определяется количество насадков ξ_1 :

$$\xi_1 = \frac{Q_m}{Q'_m}.$$

8. Рассчитывается внутренний диаметр распределительного трубопровода d'_i , м:

$$d'_i \geq 1,4d\sqrt{\xi_1},$$

где d – диаметр выпускного отверстия насадка, м.

Относительная масса двуокиси углерода m_4 определяется по формуле

$$m_4 = \frac{m_5 - m}{m_5},$$

где m_5 – начальная масса двуокиси углерода, кг.

Общие положения по расчету установок порошкового пожаротушения модульного типа

1. Исходные данные для расчета и проектирования:

- геометрические размеры помещения;
- площадь открытых проемов в ограждающих конструкциях;
- температура, давление и влажность в помещении;
- показатели пожарной опасности веществ, материалов, находящихся в помещении, и соответствующий им класс пожара по ГОСТ 27331;
- распределение пожарной нагрузки;
- наличие и характеристика систем вентиляции, кондиционирования воздуха, воздушного отопления;
- характеристика и расстановка технологического оборудования;
- категория помещений и классы зон по пожарной опасности;
- наличие людей и пути их эвакуации.

2. Методика расчета количества модулей для модульных установок порошкового пожаротушения

Тушение защищаемого объема

Определяется количество модулей для защиты объема помещения:

$$N = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{н}}} k_1 k_2 k_3 k_4 ,$$

где N – количество модулей, необходимое для защиты помещения, шт.;

$V_{\text{п}}$ – объем защищаемого помещения, м³;

$V_{\text{н}}$ – объем, защищаемый одним модулем выбранного типа;

k_1 – коэффициент неравномерности распыления порошка,
 $k_1 = 1 \dots 1,2$;

k_2 – коэффициент запаса, учитывающий затененность
возможного очага загорания, определяется как

$$k_2 = 1 + 1,33 \frac{S_3}{S_y} \quad \text{при} \quad \frac{S_3}{S_y} \leq 0,15 ,$$

S_3 – площадь затенения,

при $\frac{S_3}{S_y} > 0,15$ рекомендуется установка дополнительных модулей непосредственно в затененной зоне, тогда k_2 принимается равным 1;

k_3 – коэффициент, учитывающий изменение огнетушащей эффективности используемого порошка по отношению к горючему веществу в защищаемой зоне по сравнению с бензином АИ-92 (второго класса), определяется по таблице;

k_4 – коэффициент, учитывающий степень негерметичности помещения;

$k_4 = 1 + 10f$, где $f = F_{\text{нег}} / F_{\text{пом}}$ – отношение суммарной площади постоянно открытых проемов $F_{\text{нег}}$ к общей поверхности помещения $F_{\text{пом}}$.

Коэффициенты сравнительной эффективности огнетушащих порошков k_3

№ п/п	Горючее вещество	Порошки для тушения пожаров класса А, В, С	Порошки для тушения пожаров класса В, С
1	Бензин АИ-92 (второго класса)	1,0	0,9
2	Дизельное топливо	0,9	0,8
3	Трансформаторное масло	0,8	0,8
4	Бензол	1,1	1,10
5	Изопропанол	1,2	1,1
6	Древесина	1,0 (2,0)	–
7	Резина	1,0 (1,5)	–

Пожаротушение по площади

$$N = \frac{S_y}{S_H} k_1 k_2 k_3 k_4 ,$$

где N – количество модулей, шт.;

S_y – площадь защищаемого помещения,
ограниченная ограждающими конструкциями, м²;

S_H – площадь, защищаемая одним модулем,
определяется по документации на модуль, м².