

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шамсутдинов Расим Алегамович

Должность: Директор ЛФ КНИТУ-КАИ

Дата подписания: 23.12.2021 06:14:35

Уникальный программный ключ:

d31c25eab5d6fbb0cc50e03a64dfdc00379a085e3a993ad1080663082c961114

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Лениногорский филиал федерального государственного бюджетного**  
**образовательного учреждения высшего образования «Казанский**  
**национальный исследовательский технический университет**  
**им. А.Н. Туполева-КАИ»**

Кафедра Экономики и менеджмента

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ**  
**РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Безопасность труда (Б1. В.07)

Автор: д.э.н., профессор Гумеров А.В.

Лениногорск, 2021

## I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические материалы по выполнению практических работ являются пособием, предназначенным для организации практической работы студентов, изучающих дисциплину «Безопасность труда», так и для подготовки к профессиональной деятельности, обеспечивающей рациональное управление экономикой, производством и социальным развитием предприятий всех организационно-правовых форм с учетом состояния экономики, техники, технологии, организации производства, эффективного природопользования.

Методические материалы по выполнению практических работ составлены в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, а также рабочей программы дисциплины «Безопасность труда».

В методических материалах по выполнению практических работ представлена единая структура изложения изучаемых тем, включающая: основные вопросы, выносимые на практических занятиях, структуру и ход выполнения практических заданий. Особое внимание в методических рекомендациях уделено работе студента с литературными источниками и интернет сайтами.

Методические материалы по выполнению практических работ следует использовать по мере прохождения тем дисциплины. Критериями оценки является полнота и правильность выполнения заданий, что характеризует знание и понимание студентами базовых аспектов изучаемой дисциплины.

## II. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

### Раздел 1. Организация безопасного производства работ с повышенной опасностью Практическая работа № 1

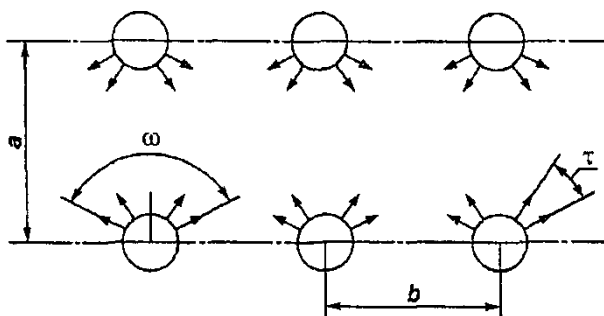
#### Расчет средств обеспечения безопасности труда при проведении грузо-погрузочных работ и работ с сосудами под давлением

**Задание 1.** Установить расчетную освещенность на погрузочно-разгрузочной площадке от группы прожекторов в точках, находящихся на расстоянии от прожекторной мачты.

Тип прожектора	ПЗС-45
Источник света ДРЛ с мощностью, Вт	700
Высота мачт, м	21
Расстояние $l$ от прожекторной мачты до расчетной точки, м	126

#### Порядок решения

1. Расчетная схема размещения прожекторов.



Принять  $\tau=10^\circ$  и  $\Theta=12^\circ$ , напряжение 220 В.

Определить значение  $l/H$ :

$$l/H = 126/21 = 6$$

По графику установить значение  $EH^2$ :

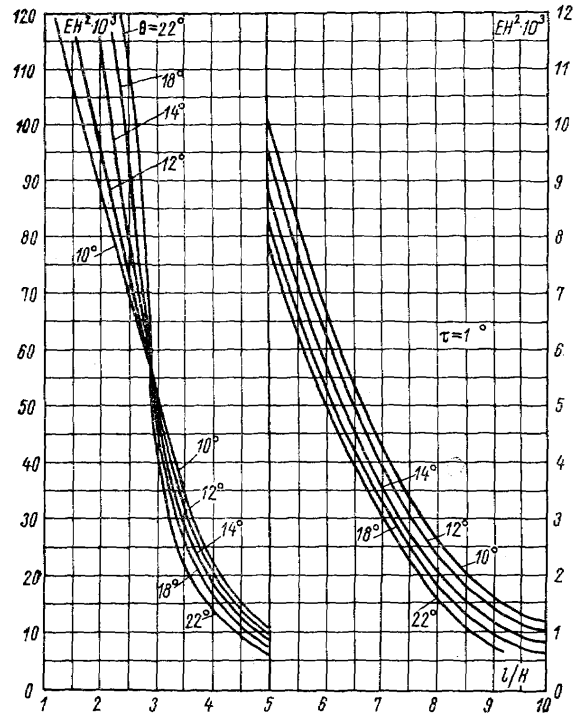


График для определения освещенности от группы прожекторов ПЗС-45 с лампами 700 Вт.

$$EH^2 = 62000 \text{ лк.}$$

Отсюда

$$E_{\tau=1^\circ} = \sqrt{\frac{62000}{H^2}}$$

$$E_{\tau=1^\circ} = \sqrt{\frac{62000}{21^2}} = 141 \text{ лк}$$

Освещенность в точке при  $\tau=10^\circ$  составит:

$$E_{\tau=10^\circ} = \frac{E_{\tau=1^\circ}}{\tau}$$

$$E_{\tau=10^\circ} = \frac{141}{10} = 14,1 \text{ лк}$$

Норма освещенности для погрузочно-разгрузочной площадки составляет 10 лк.

$$E_n \geq E$$

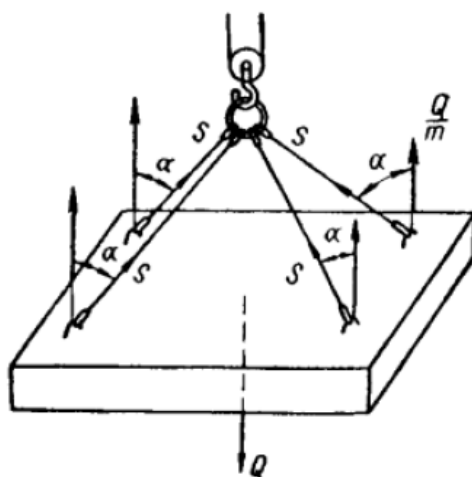
$$10 > 14,1$$

Вывод: Освещенность погрузочно-разгрузочной площадки, создаваемой группой прожекторов ПЗС-45, соответствует нормам.

**Задание 2.** Рассчитать диаметр стального каната для строповки груза

**Порядок решения**

1. Расчетная схема



2. Вычисляем вес груза

$$Q = m \cdot g [H]$$

где  $m$  - масса груза, кг;

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

3. Определяем усилие (натяжение) в одной ветви стропа без учета коэффициента перегрузки и воздействия динамического эффекта

$$S = \frac{Q}{n \cdot \cos \alpha} = \frac{k \cdot Q}{n} [kH]$$

где  $Q$  – вес поднимаемого груза, Н;

$n$  – общее число ветвей стропа;

$\alpha$  – угол наклона ветви стропа к вертикальной оси;

$k$  – коэффициент, зависящий от угла наклона:

$\alpha$ , град	0	15	30	45	60
$k$	1	1,03	1,15	1,42	2

4. Определяем разрывное усилие в ветви стропа

$$R = S \cdot k_3 [kH]$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса прочности для стропа, определяемый в зависимости от типа стропа.

Наименьший допускаемый коэффициент запаса прочности стальных канатов  $k_3$ :

для стропов с обвязкой или зацепкой крюками или серьгами	6
для витых стропов при соотношении от 1,5 и более $D/d$	5

5. По найденному разрывному усилию по таблице 2 подбирают канат и определяют его технические данные: временное сопротивление разрыву, ближайшее большее к расчетному, и его диаметр.

Таблица 2 - Техническая характеристика стальных канатов

Диаметр каната, мм	Масса 100 м смазанного каната, кг	Маркировочная группа по временному сопротивлению разрыву, МПа			
		1400	1600	1700	1800
<b>Канат типа ТК 6*19</b>					
11	43,3	52 560	60 050	63 850	65 800
14,5	71,5	86 700	99 000	105 000	108 000
17,5	107	129 000	147 500	157 000	161 500
19,5	127,5	154 500	176 500	187 500	193 500
21	149,5	1 810 000	207 000	220 000	227 000
22,5	173,5	210 000	240 000	255 000	263 000
24	199	241 000	275 500	292 500	302 000
27	255,5	309 500	364 000	376 000	387 500
29	286	347 000	396 500	421 500	434 000
32	353	428 000	489 500	520 000	536 000
<b>Канат типа ТК 6*37</b>					
9	27,35	—	36 850	39 150	41 450
11,5	42,7	—	57500	61 050	62 550
13,5	61,35	—	82 400	87 700	89 600
15	83,45	98 400	112 000	119 000	122 000
18	109	128 000	146 500	155 500	159 500
20	138	162 000	185 500	197 000	202 000
22,5	170,5	200 000	229 000	243 500	249 000
24,5	206	242 500	277 000	294 500	301 500
27	245,5	289 000	330 500	361 000	360 000
29	288	339 000	387 500	412 000	422 000
31,5	334	393 600	449 500	478 000	489 500
33,5	383,5	451 500	616 500	548 500	661 500

6. Сделать вывод

## **Тема 2. Безопасность работы оборудования под давлением выше атмосферного**

### **Теоретическая часть**

При осуществлении различных технологических процессов, проведении ремонтных работ, в быту и т.д. широко распространены различные системы повышенного давления, к которым относится следующее оборудование: трубопроводы, баллоны и емкости для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, паровые и водяные котлы, газгольдеры и др. Основной характеристикой этого оборудования является то, что давление газа или жидкости в нем превышает атмосферное. Это оборудование принято называть сосудами, работающими под давлением.

Основное требование к этим сосудам – соблюдение их герметичности на протяжении всего периода эксплуатации. Герметичность – это непроницаемость жидкостями и газами стенок и соединений, ограничивающих внутренние объемы сосудов, работающих под давлением.

Разгерметизация (потеря герметичности) сосудов, работающих под давлением, достаточно часто сопровождается возникновением двух групп опасностей.

Первая из них связана с взрывом сосуда или установки, работающей под давлением.

Взрывом называют быстропротекающий процесс физических и химических превращений веществ, сопровождающийся освобождением большого количества энергии в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и

распространяется ударная волна<sup>1</sup>, способная создать угрозу жизни и здоровью людей. При взрыве может произойти разрушение здания, в котором расположены сосуды, работающие под давлением, или его частей, а также травмирование персонала разлетающимися осколками оборудования.

Вторая группа опасностей зависит от свойств веществ, находящихся в оборудовании, работающем под давлением. Так, обслуживающий персонал может получить термические ожоги, если в разгерметизированной установке находились вещества с высокой или низкой температурой. Если в сосуде находились агрессивные вещества, то работающие могут получить химические ожоги; кроме того, при этом возникает опасность отравления персонала. Радиационная опасность возникает при разгерметизации установок, содержащих различные радиоактивные вещества. Таким образом, для обеспечения безопасности персонала, обслуживающего сосуды под давлением, весьма важно, чтобы эксплуатируемое оборудование сохраняло герметичность.

Первой эксплуатационной причиной разгерметизации является образование взрывоопасных смесей, состоящих из горючих газов, паров или жидкостей и окислителя. Примером таких смесей могут служить ацетилен и кислород, водород и кислород, пары этилового спирта и кислород и др.

Взрывоопасные смеси «горючее–окислитель» могут возгораться и взрываться, если имеется инициатор (источник) зажигания, в качестве которого может выступить электрическая искра (например, возникающая в результате накопления статического электричества), искры от газо- и электросварки, искры, возникающие от удара стальных предметов, нагретые тела и др. Существует также ряд самовоспламеняющихся систем, для которых не требуется инициатор зажигания. Примером таких систем могут служить натрий или калий, которые при нормальной температуре взрываются при соприкосновении с хлороформом.

Для предотвращения взрывов следует исключать возможность образования систем «горючее–окислитель», предотвращать инициирование горения, а также обеспечивать локализацию очага горения.

Для того чтобы предотвратить инициирование процесса горения, необходимо нейтрализовать источники зажигания. Это достигается заземлением оборудования для исключения возможности накопления статического электричества, применением безыскрового (не дающего искр в процессе эксплуатации) инструмента и другими мероприятиями.

Локализацию очага горения применяют, если существует вероятность образования взрывоопасной смеси и имеется инициатор зажигания. В этом случае используют огневзрывопреградители, которые ограничивают очаг горения в пределах определенного аппарата или газопровода, способного выдержать последствия горения. Передача горячей смеси в другие аппараты, таким образом, исключается.

Технологические причины разгерметизации – это различные дефекты (трещины, вмятины, дефекты сварки и др.), возникшие при изготовлении, хранении и транспортировке сосудов, работающих под давлением.

Меры безопасности при эксплуатации газовых баллонов:

- газовые баллоны необходимо хранить в вертикальном положении в проветриваемом помещении или под навесами. Их следует защищать от действия прямых солнечных лучей и осадков. Баллоны не должны храниться на расстоянии менее 1 м от радиаторов отопления и ближе 5 м от открытого огня;

- нельзя переносить баллоны на плечах или руками в обхват;

- эксплуатировать можно только исправные баллоны. Их надо устанавливать вертикально на месте проведения работ и надежно закреплять для предохранения от падения. Установленный баллон должен быть надежно защищен от воздействия открытого огня, теплового излучения и прямых солнечных лучей.

### **Ход выполнения работы:**

1. Изучить теоретический материал по теме практической работы
2. Ответить на вопросы
  1. Какое оборудование называют сосудами, работающими под давлением.
  2. Что называют взрывом ?
  3. Какие существуют меры безопасности при эксплуатации газовых баллонов ?
- 3 По заданию преподавателя провести расчет
  1. Освещенности на погрузочно-разгрузочной площадке от группы прожекторов в точках, находящихся на расстоянии от прожекторной мачты.
  2. Диаметра стального каната для строповки груза
4. Подготовить отчет по практической работе

## **Практическая работа № 2**

### **Анализ требований безопасности производства работ повышенной опасности**

#### **Тема 1. Требования охраны труда при работах в аппаратах, колодцах и других емкостных сооружениях**

Работа внутри аппаратов, цистерн, колодцев, коллекторов и других емкостных сооружений относится к числу особоопасных. В замкнутых объемах могут оказаться или внезапно образоваться токсичные или взрывоопасные пары или газы. Из-за недостаточной освещенности и плохой слышимости эвакуация работающих при возникновении опасной ситуации затруднена. Поэтому проведение работ в замкнутом пространстве требует особо тщательной подготовки и строго регламентируется.

К выполнению работ в емкостных сооружениях допускаются лица мужского пола, достигшие 18-летнего возраста, имеющие соответствующую профессиональную подготовку, прошедшие медосмотр, обучение, инструктаж, стажировку и проверку знаний по вопросам охраны труда.

Требования безопасности при выполнении работ внутри емкостных сооружений регламентируется Межотраслевой типовой инструкцией по охране труда при выполнении работ внутри колодцев, цистерн и других емкостных сооружений, утвержденной постановлением МТиСЗ 30.12.2008 г. №214, отраслевыми и локальными ТНПА.

В наряд–допуск включают порядок открытия люка (входа) емкостного сооружения, спуска и эвакуации из него работников с применением в необходимых случаях средств механизации (треноги, грузовой лебедки), схема размещения шлангов, заборных патрубков противогазов, страховочных канатов (веревки); обеспечение средствами связи и сигнализации и другие дополнительные меры безопасности.

Работы должны быть обеспечены газоанализаторами и необходимыми исправными приспособлениями и инструментами, не создающими искр. При необходимости для производства работ предусматриваются штанги-вилки для открывания задвижек, шесты для проверки прочности крепления скоб или стационарных лестниц, переносные инвентарные лестницы, крючки для открывания люков (крышек), вентиляторы с механическим или ручным приводом и др. Вентиляторы должны обеспечивать полный обмен воздуха в течение 10–15 минут.

Для обеспечения быстрой эвакуации работающего, в случае необходимости, все лазы и люки в аппаратах должны быть открыты, а выходы из них – свободны.

Перед началом работы прежде всего необходимо удалить из емкости остатки жидкостей, паров и газов, а также выполнить необходимые анализы воздушной среды.

Работа в емкости проводится бригадой, состоящей не менее чем из трех человек: один работает внутри емкости, второй наблюдает за его работой снаружи и в случае необходимости вместе с третьим оказывают помощь находящемуся внутри. Не допускается отвлекать на другие работы наблюдающего работника до тех пор, пока первый работник не поднимется из емкости на поверхность. Наблюдатель должен быть

экипирован так же, как и работник, находящийся внутри емкости, иметь при себе шланговый или изолирующий противогаз (дыхательный аппарат) в положении «наготове».

Перед спуском в аппарат или колодец рабочие проходят инструктаж, проверяют в присутствии руководителя работы подгонку маски к лицу, надевают спасательный пояс с сигнальной веревкой, берут аккумуляторную включенную взрывозащищенную электролампу напряжением 12 В и осторожно, не имея в руках никаких предметов, спускаются в емкость. Необходимый для работы инструмент опускают в емкость в специальной сумке.

Работу выполняют в шланговом противогазе, обслуживаемом дублером, который следит за правильным положением шланга, подачей воздуха, поддерживает связь с исполнителем при помощи сигнальной веревки, прикрепленной к поясу, работающего в емкости. Дублер должен иметь комплект шлангового противогаза, готового к применению, с маской, подогнанной к лицу, чтобы в случае необходимости быстро войти в опасную зону для оказания помощи пострадавшему.

При попытке работающего снять маску противогаза или других нарушениях правил охраны труда при работе в закрытой емкости (неисправность шланга, остановка воздухоподводящего устройства и т.п.) все операции следует немедленно прекратить, а работника удалить из емкости.

В случае отравления пострадавшего необходимо извлечь из опасной зоны, освободить от стесняющей дыхание одежды, обеспечить ему доступ свежего воздуха, покой и тепло, дать понюхать нашатырный спирт. При необходимости нужно сделать искусственное дыхание. В случае попадания нефтепродуктов в глаза следует немедленно промыть их большим количеством воды.

Неотложную медицинскую помощь вызывают даже при удовлетворительном самочувствии пострадавшего.

О выявлении утечки нефтепродуктов и загазованности следует немедленно сообщить непосредственному руководителю и в пожарную службу.

Время пребывания в емкости определяется условиями работы и нарядом-допуском. Как правило, срок одноразового нахождения рабочего в емкости не должен превышать 15 мин, после чего он должен отдыхать вне емкости не менее 15 мин. При подъеме работника из емкостного сооружения страховочный канат (веревка) выбирается одновременно с подъемом работника так, чтобы не было провисания каната.

Работу внутри топок, печей, дымоходов и горячих аппаратов можно выполнять только после охлаждения оборудования до 30°C. В случае проведения кратковременных работ при более высокой температуре применяют дополнительные меры безопасности, например, непрерывную обдувку свежим воздухом, использование теплоизолирующих несгораемых костюмов и теплоизолирующей обуви, более частые перерывы в работе. Проведение работ при температуре выше 50°C запрещено.

## **Тема 2. Требования безопасности при выполнении работ на высоте**

К работам на высоте относятся работы, при выполнении которых работник находится на расстоянии менее 2 м от не огражденных перепадов по высоте 1,3 м и более.

К работам на высоте допускаются работники не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование без противопоказаний к работам на высоте, имеющие профессиональные навыки, обученные правилам безопасного выполнения работ на высоте, и получившие соответствующее удостоверение.

Работы на высоте должны выполняться по плану производства работ (строительные работы) или наряду-допуску



Леса и подмости, применяемые на монтажных работах, должны быть только инвентарными, изготавливаться по типовым проектам и иметь паспорт завода-изготовителя.

Настилы на лесах и подмостях должны выполняться из досок толщиной не менее 40 мм, иметь ровную поверхность с зазорами между досками не более 10 мм.

Настилы из досок, расположенные выше 1 м от уровня земли или перекрытия, должны быть огорожены перилами высотой не менее 1 м, состоящего из поручня, промежуточного элемента и бортовой доски, высотой не менее 150 мм. Ширина настила не менее 1 м.

Все леса и подмости, смонтированные для производства монтажных или наладочных работ на высоте до 4 м, должны быть приняты прорабом или мастером. Если работы производятся с лесов или подмостей высотой более 4 м, эти леса или подмости должны быть приняты по акту комиссией, назначенной главным инженером (техническим директором) организации.

Перед началом работ состояние лесов и подмостей ежедневно должно быть проверено производителем работ.

Поверхность грунта, на которую устанавливаются леса и подмости, должна быть спланирована и утрамбована. Должен быть обеспечен также отвод с нее атмосферных осадков.

Леса должны иметь прочные лестницы для подъема и спуска людей и материалов. Для тяжелых материалов и деталей оборудования должны применяться подъемные устройства.

Работа на случайных подставках (ящиках, бочках и т.п.), а также с ферм, стропил и т.п. без устройства прочих подмостей с ограждениями строго запрещается.

Сборка и разборка лесов должны производиться под руководством и наблюдением Производителя работ с соблюдением порядка, предусмотренного проектом

Доступ посторонних в зону, где производится установка или разборка лесов и подмостей, должен быть закрыт и должен быть вывешен плакат "Проход закрыт".

Для подъема работников на высоту могут применяться деревянные инвентарные переносные стремянки. Стремянки снабжаются приспособлениями (крюками, цепями), не позволяющими им самопроизвольно раздвигаться во время работы с них.

Длина деревянных приставных лестниц не должна быть более 5 м, при этом общая длина лестницы должна позволять вести работу со ступени, находящейся на расстоянии не менее 1 м от ее верхнего конца. Нижние концы деревянных приставных лестниц для обеспечения неподвижности опор должны иметь упоры в виде острых металлических шипов или резиновые противоскользящие наконечники, либо другие аналогичные устройства.

Ступени должны быть врезаны в тетивы. Не реже чем через 2 м тетивы должны скрепляться стяжными шпильками.

Перед эксплуатацией и через каждые 6 мес. приставные деревянные лестницы необходимо испытывать статической нагрузкой 200 кг, а лестницы-стреманки - 120 кг, приложенной к одной из ступеней в середине пролета лестницы, установленной под углом 75° к горизонтальной плоскости.

При работе с приставной лестницы на высоте более 1,3 м надлежит применять предохранительный пояс, прикрепляемый к конструкции сооружения.

Не допускается работа на приставных лестницах и стремянках:

- около и над работающими машинами, механизмами,
- с использованием электрического и пневматического инструмента,
- при выполнении электро- и газосварочных работ.

**Ход выполнения работы:**

1. Изучить теоретический материал по темам практической работы
2. Ответить на вопросы:
  1. Какие работы относятся к работам на высоте
  2. Какие нормативные документы регламентируют меры безопасности при выполнении работ на высоте
  3. Порядок действий перед началом работ в ограниченном пространстве, колодцах и т.п.
3. Оформить отчет по практической работе

## **Раздел 2. Защита работников на рабочем месте от загрязнения промышленными выбросами**

### **Практическая работа № 3**

#### **Анализ методов контроля запыленности рабочей зоны**

##### **Теоретический материал**

Методы контроля запыленности воздуха

Контроль запыленности воздуха проводится весовым, гравиметрическим, оптическим, электрическим, радиометрическим методами, путем определения числа пылинок и дисперсности пыли.

*Весовой (аспирационный) метод* измерения концентрации пыли заключается в выделении из пылегазового потока частиц пыли и определении их массы путем взвешивания. Концентрацию пыли рассчитывают по формуле

$$C = \frac{m}{V_B} \cdot t$$

где  $m$  – масса пыли на фильтре;  $V_B$  – объемная скорость присасывания воздуха через фильтр;  $t$  – время отбора пробы.

Измерение концентрации пыли весовым методом включает, следующие операции: отбор пробы запыленного воздуха и измерение его объема, полное улавливание содержащейся в пробе пыли и взвешивание осажденной пыли. Существенными преимуществами метода являются, возможность определения массовой концентрации пыли и отсутствие влияния ее химического и дисперсного состава на результат измерения. Однако из всех существующих методов он наиболее трудоемкий, причем самой сложной операцией является отбор пробы пыли. Кроме того, метод является циклическим даже при полной автоматизации всех операций.

*Гравиметрический метод*, основанный на наборе проб пыли, определении ее массы и регистрации результатов измерений на месте или на расстоянии, характеризуется относительно большими габаритами аппаратуры и низкой эксплуатационной надежностью. В качестве примера можно отметить весовой пылемер ПВ-2М-1 (СССР), автоматические весы Гаста (фирма «Сакториус», ФРГ) для измерения концентрации аэрозоля в бытовых газах. Применить этот метод при создании датчиков концентрации пыли для шахтных условий не представляется возможным.

*Оптические методы* основаны на определении доли поглощенного или рассеянного света пылевым облаком или препаратом пыли, выделенной на подложку. Результат измерений этими методами, выраженный в гравиметрических единицах концентрации, зависит от дисперсности пыли, поскольку оптические параметры ее определяются, в первую очередь, удельной площадью поверхности. Кроме того, на результат измерений влияет плотность пыли и ее отражательная способность. Однако в определенных условиях влияние этих факторов может быть в значительной степени уменьшено.

Если целью измерений является определение концентрации тонкодисперсной фракции, возможно повышение точности метода. Это достигается при использовании

длинноволнового излучения (инфракрасный участок спектра), а также при оценке интенсивности рассеивания пылью светового потока под определенным углом.

При измерении концентрации пыли вблизи источников пылевыведения в подземных выработках угольных шахт колебания дисперсного состава пыли могут давать погрешность измерения всей массы пыли  $\pm 34\%$ , а тонкодисперсной пыли  $\pm 11\%$ ; в этих же условиях возможное изменение вещественного состава пыли (колебание зольности от 6 до 40%) вызывает погрешность не более  $\pm 9,5\%$ .

Предварительное разделение пыли на фракции позволяет снизить погрешность измерения, вызываемую в основном влиянием состава пыли, до 15%.

*Электрические методы* (электроиндукционные, электро-контактные и др.) основаны на измерении заряда потока пылевых частиц или на измерении числа заряженных частиц. Первичный электрический сигнал в общем случае пропорционален суммарной поверхности пылевых частиц и не является мерой их массы. Поэтому изменение дисперсного состава пыли может быть причиной погрешности измерений. В значительной мере на результат измерений влияет вещественный состав и электрические свойства пыли.

При использовании этих методов в условиях шахт наиболее принципиальным недостатком является чувствительность их к влажности воздуха. Это определяется не только изменением электрических свойств пыли, но и нарушением работы датчиков, поскольку чувствительный элемент его, воспринимающий малые электрические сигналы, теряет работоспособность при относительной влажности воздуха более 80%.

*Радиометрический метод* основан на определении доли бета-излучения, поглощенного препаратом пыли, выделенной на подложку. Результат измерения этим методом практически не зависит от состава пыли и определяется лишь ее массой. Необходимость предварительного выделения пыли, например, путем протяжки запыленного воздуха через фильтр определяет возможность лишь периодических измерений с осреднением за время набора проб данных и получением результата через несколько минут после начала набора. В известных приборах время единичного замера в зависимости от концентрации пыли составляет от 0,2 мин (при концентрации пыли  $>100 \text{ мг/м}^3$ ) до 15 мин (при концентрации пыли 2-10  $\text{мг/м}^3$ ).

Датчики пылеизмерительных приборов, основанные на радиометрическом методе, относительно сложны. Они имеют движущиеся элементы (побудитель расхода воздуха, механизм протяжки ленты), сложные электрические схемы усилителей и преобразователей первичного сигнала. Такие приборы дорогостоящи. Применение рассмотренных датчиков в аппаратуре дистанционного контроля запыленности воздуха может быть оправдано только хорошими метрологическими показателями.

*Турбидиметрический метод* применяется для анализа суспензий, эмульсий, различных взвесей и других мутных сред. Интенсивность пучка света, проходящего через такую среду, уменьшается за счет рассеивания и поглощения света взвешенными частицами, т.е. метод основан на измерении интенсивности света прошедшего через анализируемую суспензию.

Основным достоинством турбидиметрических методов является их высокая чувствительность. По точности турбидиметрия уступает фотометрическим методам, что связано, главным образом, с трудностями получения суспензий, обладающих одинаковыми размерами частиц, стабильностью во времени и т.д.

#### **Анализ существующих средств измерения концентрации пыли**

*Фотометр ТМ*, имеющий источник монохроматического света с длиной волны 940 нм и регистрирующий световой поток, рассеянный под углом  $70^\circ$ , позволяет определить концентрацию тонкодисперсной пыли в условиях угольной шахты с погрешностью, не превышающей 10%.

При этом не требуется выделения из общей массы пыли тонкодисперсной фракции. Определенным конструктивным недостатком датчиков, требующих предварительного

разделения пыли на фракции или выделения пыли на фильтр, является необходимостью в побудителе расхода воздуха, от стабильности работы которого в значительной мере зависит возможная точность измерения концентрации пыли. Наличие такого побудителя усложняет конструкцию датчика, снижает его надежность, увеличивает потребляемую мощность.

*Портативный пылемер ДПВ-1* предназначен для измерения концентрации взвешенной угольной пыли по общей массе и по тонкодисперсной фракции; он обеспечивает получение результата непосредственно на месте измерения. Принцип действия прибора основан на денситометрии. С этой целью проба запыленного воздуха просасывается через фильтр, а затем определяется увеличение оптической плотности фильтра в результате выделения на нем пыли и вырабатывается электрический сигнал, пропорциональный концентрации пыли.

Просасывание воздуха через фильтр проводится вручную с помощью мехового аспиратора. Прибор работает от встроенного аккумулятора, который периодически заряжается с помощью специального зарядного устройства, входящего в комплект прибора. Пылемер ДПВ-1 может быть использован для измерений в широком диапазоне концентраций пыли, для чего необходимо соответственно выбирать объем просасываемого воздуха (число качаний аспиратора).

*Шахтный автоматический переносной пылемер П101* предназначен для измерения концентрации взвешенной в воздухе пыли угольных шахт с частицами размером менее 7 и менее 20 мкм. Пылемер может применяться в опасных по газу или пыли угольных шахтах, для замеров запыленности воздуха с целью оценки источников пылеобразования и эффективности средств борьбы с пылью специально обученным персоналом различных подразделений, а также научно-исследовательскими организациями.

Принцип действия прибора заключается в выделении взвешенной пыли на фильтр с последующим определением оптической плотности пятна фотометрическим методом и записью пропорциональных ей электрических сигналов самопишущим прибором. Отбор проб пыли, и определение ее концентрации производятся отдельно, для чего прибор выполнен в виде двух блоков: пробонаборника и измерительного блока.

Все электрические элементы пробонаборника заключены во взрывобезопасный корпус. Для зарядки аккумуляторов используется зарядное устройство, которое может одновременно заряжать от одного до 10 приборов.

*Пылемер ФПГ-6* представляет собой прибор переносного типа, предназначенный для обнаружения взрывоопасных концентраций угольной пыли в воздухе шахты и для проверки эффективности борьбы с пылеобразованием.

Прибор устроен по принципу измерения ослабления монохроматического параллельного пучка световых лучей, проходящего через слой запыленного воздуха, с помощью сернисто-серебряного фотоэлемента и гальванометра.

Пылемер ФПГ-6 взрывобезопасен. Габаритные размеры его 140×324 мм. Прибор переносится в сумке на плечевом ремне. При работе пользуются ручкой, прикрепленной к верхней коробке прибора. Емкость сухих элементов обеспечивает до 500 замеров пыли. Измеряемые концентрации пыли 1-80 г/м<sup>3</sup>. Точность прибора ±1 г/м<sup>3</sup> при концентрациях пыли до 10 г/м<sup>3</sup> и ±3 г/м<sup>3</sup> при концентрациях свыше 10 г/м<sup>3</sup>.

*Прибор для измерения небольших концентраций угольной пыли ИПМ-1.* Действие пылемера основано на измерении ослабления светового потока, проходящего через слой запыленного воздуха. В качестве «приемника» светового потока в приборе использовано полупроводниковое фотосопротивление ФС-К1.

Прибор имеет искробезопасное исполнение и может применяться на шахтах, опасных по газу и пыли, без ограничений, при температуре окружающей среды от -5 до +45 °С и относительной влажности до 96%.

Все детали и узлы прибора смонтированы в металлическом корпусе размером 230×102×133 мм. Вес прибора 2,5 кг. П-образная форма прибора позволяет производить измерение запыленности почти без нарушения аэродинамических свойств воздушного потока.

Чтобы обеспечить возможность измерения запыленности воздуха в более широких пределах, прибор имеет две шкалы: верхнюю для измерения малых концентраций пыли от 0 до 1,5 г/м<sup>3</sup> с точностью ±50 г/м<sup>3</sup> и нижнюю для измерения больших концентраций пыли от 0 до 15 г/м<sup>3</sup> с точностью ±0,5 г/м<sup>3</sup> (табл. 1).

Таблица 1 - Параметры пыли и приборы при производстве пылевой съёмки

№	Параметры	Единица измерения	Приборы
1	2	3	4
1.	С – концентрация	%, мг/м <sup>3</sup>	ПКА-1; АЭР-1; Ф-1,2; ФЭП-6; ДПВ-1
2.	Интенсивность пылевыделения	мг/м <sup>3</sup>	ПКА-1; АЭР-1; Ф-1,2; ФЭП-6; ДПВ-1
3.	Удельный выход пыли	мг/т	ПКА-1; АЭР-1; Ф-1,2; ФЭП-6; ДПВ-1
4.	Продолжительность воздействия	с, ч/год	Секундомер
5.	Дисперсность	мкм	Кониметры
6.	П – пылевзрывоопасность	%	Кониметры; ПКО-1; ПКП-0,1
7.	Физико-химические свойства, вызывающие отравления	%, м <sup>3</sup> /мин	Газоопределители

#### Ход выполнения работы:

1. Изучить теоретический материал
2. Ответить на вопросы:
  1. Что такое пыль?
  2. Влияние пыли на человека и технические системы
  3. Какие методы контроля запыленности воздуха вам известны?
  4. Какие приборы и средства контроля запыленности воздуха вам известны?
  5. Принцип работы прибора контроля запыленности воздуха (по выбору студента)
3. Оформить отчет по практической работе

### Практическая работа № 4 Расчет производственной вентиляции

#### Теоретическая часть

Устройство и эксплуатация вентиляционных систем производственной вентиляции регламентируется нормативными документами:

- СНиП «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
- ГОСТ 12.4.021-75 «Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования»

Назначение вентиляции – обеспечение заданной чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях.

Расчет производственной вентиляции, как правило, состоит из двух основных этапов:

1. Определение количества вредных выделений;

2. Определение необходимого количества воздуха для разбавления вредных выделений.

Зная архитектурно-строительные характеристики здания, количество вредных выделений и количество воздуха для их разбавления, можно спроектировать общеобменную вентиляцию для жилых и общественных зданий, а для производственных помещений еще и дополнительно местную вентиляцию и аэрацию.

В данной работе производится расчет вентиляции в учебной аудитории или рабочих помещениях по указанным двум основным этапам, который необходим для формирования у студентов общего представления о проектировании систем вентиляции.

### Задание 1. Расчет поступления в помещение вредных выделений

#### 1.1. Расчет тепlopоступлений

Тепловыделения (или тепlopоступления, или тепlopриитоки) в помещения жилых и общественных зданий складывается в основном из следующих потоков теплоты:

- от людей;
- от искусственного освещения;
- от солнечной радиации (в теплый и переходный периоды года);
- от работающих отопительных приборов систем отопления (в холодный период);
- от технологического оборудования, расположенного в помещении;
- от других источников теплоты (горячей пищи, нагретых поверхностей оборудования,
- горячей воды и пр.);
- от поступающего в воздух помещения водяного пара (скрытая теплота).

Рассмотрим методики расчёта для первых двух видов тепlopоступлений как основных и типичных для большинства видов помещений.

1.1.1. Тепlopоступления от людей, Вт/ч, рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{л}} = q_{\text{м}} \cdot n_{\text{м}} + q_{\text{ж}} \cdot n_{\text{ж}},$$

где  $q_{\text{м}}$ ,  $q_{\text{ж}}$  – удельное выделение явного тепла одним мужчиной или женщиной соответственно, Вт/(ч·чел);  $n_{\text{м}}$ ,  $n_{\text{ж}}$  – количество мужчин и женщин соответственно.

Тепловыделения от мужчин определяют по таблице 1 с учетом температуры внутреннего воздуха в помещении и интенсивности физической нагрузки людей. Взрослые женщины выделяют 85% от тепла, поступающего от взрослого мужчины.

Таблица 1 Количество выделяемых взрослыми людьми тепла и влаги

показатель	Количество теплоты, Вт/(ч·чел), и влаги тч, г/(ч·чел), выделяемых одним мужчиной при температуре воздуха в помещении, °С					
	10	15	20	25	30	35
В состоянии покоя						
Теплота явная $q_{\text{м. я}}$	140	120	90	60	40	10
Полная $q_{\text{м. п}}$	165	145	120	95	95	95
Влага $tч$	30	30	40	50	75	115
При легкой работе						
Теплота явная $q_{\text{м. я}}$	150	120	99	65	40	5
Полная $q_{\text{м. п}}$	180	160	151	145	145	145
Влага $tч$	40	55	75	115	150	200
При работе средней тяжести						
Теплота явная $q_{\text{м. я}}$	165	135	105	70	40	5
Полная $q_{\text{м. п}}$	215	210	205	200	200	200
Влага $tч$	70	110	140	185	230	280
При тяжелой работе						
Теплота явная $q_{\text{м. я}}$	200	165	130	95	50	10
Полная $q_{\text{м. п}}$	290	290	290	290	290	290

Влага тч	135	185	240	295	355	415
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

1.1.2. Тепловыделения от источников искусственного освещения  $Q_{осв}$ , Вт/ч, для 8-ми часовой рабочей смены определяются как

$$Q_{осв} = \frac{E \cdot F \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв}}{8}, (2)$$

где  $E$  – нормативная освещенность рабочей поверхности (таблица 2), лк;  $F$  – площадь помещения,  $m^2$ ;  $q_{осв}$  – удельные тепловыделения от источников искусственного освещения (таблица 3), Вт/( $m^2 \times лк$ );  $\eta_{осв}$  – доля тепла, поступающего от светильников в помещение.

Если светильники находятся непосредственно в помещении  $\eta_{осв}=1$  и  $\eta_{осв}=0,45$  – если светильники располагаются в вентилируемом подвесном потолке.

Таблица 2 Уровень общего освещения помещений

Помещения	Общая освещенность помещения $E$ , лк
Проектные залы, конструкторские бюро	600
Читальные залы, проектные кабинеты, рабочие и классные комнаты и аудитории, офисные помещения	300
Залы заседаний, спортивные, актовые, зрительные залы клубов, фойе театров, обеденные залы, буфеты	200
Крытые бассейны, фойе клубов и кинотеатров	150
Номера гостиниц	100
Зрительные залы кинотеатров, палаты и спальные комнаты санаториев	75
Торговые залы магазинов продовольственных товаров	400
То же, промышленных товаров	300
То же, хозяйственных товаров	200
Аптеки	150

Таблица 3 Удельные тепловыделения от светильников с люминесцентными лампами (верхние значения) и лампами накаливания (нижние значения)

Тип светильника	Средние удельные тепловыделения $q_{осв}$ , Вт/(лк· $m^2$ ), для помещений площадью, $m^2$ :					
	Менее 50		50 – 200		Более 200	
	При высоте помещения, м					
	До 3,6	Более 4,2	До 3,6	Более 4,2	До 3,6	Более 4,2
Прямого света	0,077	0,202	0,058	0,074	0,056	0,067
	0,212	0,280	0,160	0,204	0,154	0,187
Диффузного света	0,116	0,166	0,079	0,102	0,077	0,094
	0,319	0,456	0,217	0,280	0,212	0,268
Отраженного света	0,161	0,264	0,154	0,264	0,108	0,145
	0,443	0,726	0,424	0,726	0,297	0,399

## 1.2. Определение влагопоступлений

Количество влагопоступлений от людей в процессе работы  $W_{\Sigma}$ , г/ч, определяется по формуле

$$W_{\Sigma} = w_{\text{м}} \cdot n_{\text{м}} + w_{\text{ж}} \cdot n_{\text{ж}}, \quad (3)$$

где  $w_{\text{м}}$ ,  $w_{\text{ж}}$  - удельное количество влаги, выделяемое одним мужчиной или женщиной соответственно (таблица 1);  $n_{\text{м}}$ ,  $n_{\text{ж}}$  - количество мужчин и женщин соответственно.

Взрослые женщины выделяют 85% от влаги, поступающего от взрослого мужчины.

### 1.3. Количество вредных выделений

Количество двуокси углерода  $Z_{\Sigma}$ , л/ч или г/ч, выделяющегося в помещении, определяется по формуле

$$Z_{\Sigma} = z \cdot n, \quad (4)$$

где  $z$  - удельное выделение двуокси углерода (углекислого газа) одним человеком (таблица 4), л/(ч·чел) или г/(ч·чел).

Таблица 4 Количество углекислого газа, выделяемое людьми

Характер выполняемой работы	СО <sub>2</sub> , г/(ч·чел)	СО <sub>2</sub> , л/(ч·чел)
при тяжелой физической работе	68	45
при легкой физической работе	45	30
в состоянии покоя	35	23

## Задание 2. Определение необходимого количества воздуха для разбавления вредных выделений

### 1.1. Расчет воздухообмена на разбавление теплоизбытков

Расчет воздухообмена  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, на разбавление теплоизбытков производится по формуле

$$L = \frac{3,6Q}{c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{п}})}, \quad (5)$$

где  $Q$  - суммарный избыточный тепловой поток в помещении, определенный из первого этапа расчета, Вт;  $c$  - теплоемкость воздуха,  $c=1,2$  кДж/(м<sup>3</sup>·°С);  $t_{\text{в}}$  - температура воздуха, удаляемого из помещения,  $t_{\text{в}}=17...20$  °С;  $t_{\text{п}}$  - температура воздуха, подаваемого в помещение,  $t_{\text{п}}=13...15$ °С.

### 2.2. Расчет воздухообмена на разбавление влагоизбытков

Расчет воздухообмена  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, на разбавление влагоизбытков производится при плотности приточного и удаляемого воздуха, равной 1,2 кг/м<sup>3</sup>, по формуле

$$L = \frac{W}{1,2 \cdot (d_{\text{в}} - d_{\text{п}})}, \quad (6)$$

где  $W$  - избытки влаги в помещении, определенные из первого этапа расчета, г/ч;  $d_{\text{в}}$  - влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения,  $d_{\text{в}}=5...8$  г/кг;  $d_{\text{п}}$  - влагосодержание воздуха, подаваемого в помещения,  $d_{\text{п}}=2...3$  г/кг.

### 2.3. Расчет воздухообмена на разбавление газо - и паровыделений

Расчет воздухообмена  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, на разбавление газо - и паровыделений производится по формуле

$$L = \frac{Z}{(z_{\text{в}} - z_{\text{п}})}, \quad (7)$$

где  $Z$  - количество вредного вещества, поступающего в помещение, л/ч;  $z_{\text{в}}$  - концентрация вредного вещества в воздухе, удаляемом из помещения, л/м<sup>3</sup>;  $z_{\text{п}}$  - концентрация вредного вещества в воздухе, подаваемом в помещение, л/м<sup>3</sup>.



В наших расчетах вредным веществом является углекислый газ, примерные концентрации которого для удаляемого и приточного воздуха приведены в таблицах 5,6.

Таблица 5 Допустимые концентрации CO<sub>2</sub> в помещениях

Помещения для...	CO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , л/ м <sup>3</sup>
постоянного пребывания людей	1,5	1
периодического пребывания людей	1,75	1,25
кратковременного пребывания людей	3	2

Таблица 6 Содержание CO<sub>2</sub> в наружном воздухе

Характер местности	CO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , л/ м <sup>3</sup>
Сельская местность	0,6	0,40
Города	0,9	0,60

### Анализ полученных результатов расчета

За искомое принимают максимальное значение воздухообмена.

### Ход выполнения работы

1. Изучить методику расчета параметров воздухообмена производственной вентиляции
2. Получить вариант задания от преподавателя
3. Сделать описание рабочего места согласно полученным из варианта данным.
4. Произвести расчет параметров воздухообмена согласно приведенной методике.
5. Сделать вывод по результатам произведенных расчетов

## Практическая работа № 5 Расчет систем газоочистки

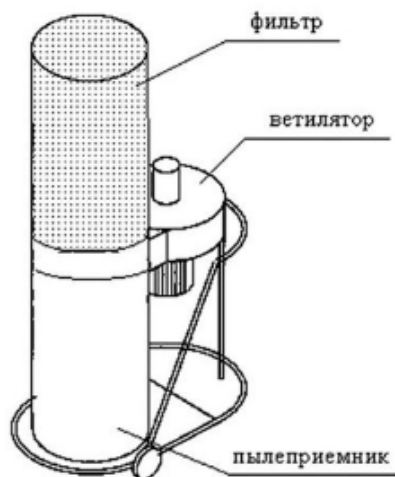
### Теоретическая часть

Назначение аспирации — локализовать выделения примесей, т.е. не допустить поступление примесей от источника их образования при технологическом процессе в воздух рабочих помещений.

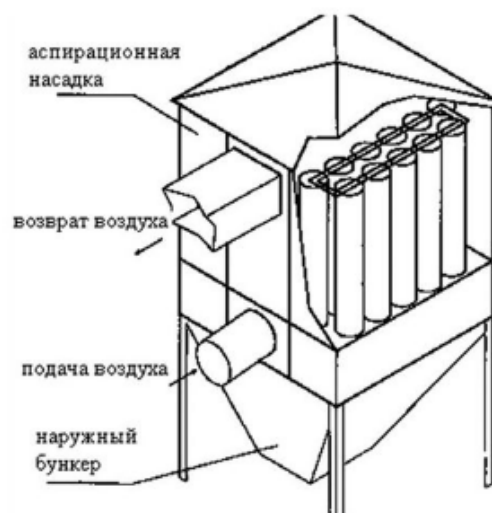
Отличительной особенностью аспирационной системы являются сильно наклонные воздуховоды. В менее пыльных производствах используется пылеудаляющая вентиляция (отличается отсутствием наклонных воздуховодов).

Главный критерий эффективности аспирационной установки — степень невыбывания, т.е. отсутствия исхода вредных веществ из-под местных отсосов в воздух рабочих помещений. Чем более эффективна система аспирации, тем меньше примесей поступает в помещения из местного отсоса.

Для формирования комфортных трудовых условий, предупреждения выбросов пыли от спецоборудования в производственном цеху, перемещения сыпучих материалов используются системы аспирации и пневматический транспорт. Они предназначены не только для санитарных и технологических целей, но еще и обеспечивают пожаробезопасность.



⊗ ПУА в цеховом исполнении



⊗ ПУА в уличном исполнении

Качество работы во многом зависит от надежности пылеудаляющей вентиляции. Правильно спланированная вентиляционная система помогает:

- значительно снизить траты на отопление;
- освободить помещение от пылевых взвесей;
- изготавливать продукцию высокого качества.

Главная функция современных систем аспирации – результативное избавление от мелкодисперсной пыли.

Существуют вентиляционные аппараты, позволяющие избавиться от одного вида загрязнений. Но на крупных предприятиях с расширенным ассортиментом продукции процентное соотношение производственных отходов всегда изменяется. В этом случае требуются системы аспирации, предполагающие комплексный подход к устранению отходов производства.

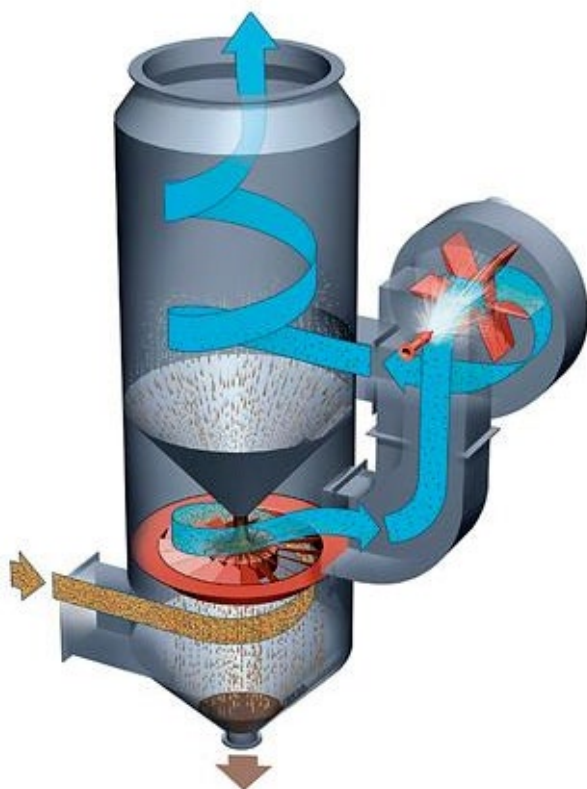
Конструкция системы аспирации воздуха

В состав аспирационных систем входят:

- вентиляторы, создающие отрицательное давление в системе
- фильтрационные устройства, отделяющие включения от воздуха
- специальные емкости для аккумуляирования и последующего удаления пыли, твердых включений, взвеси и т.д.

Используются два основных типа конструкции:

- моноблочные установки. Они обладают мобильностью, способны эффективно работать на определенном участке, но при необходимости легко транспортируются в любое место.



- модульные конструкции. Это сложные системы, создающиеся, как правило, по специальному заказу для конкретных производств и условий. Обладают заданной производительностью и мощностью, выполняют конкретные задачи.

В зависимости от дальнейшего движения очищенных воздушных потоков, системы разделяются на две группы:

- Прямоточные очищают воздух перед выбросом его в атмосферу.
- Обратные задействованы в замкнутой системе, воздух очищается и возвращается. Закрытый цикл помогает экономить на отоплении в зимнее время

По конструкционным признакам промышленные системы аспирации бывают:

- моноблочные;
- модульные.

Вне зависимости от принципа работы и используемой схемы, система аспирации состоит из нескольких обязательных узлов. Основные элементы:

**Местные отсосы:** зонты, отсосы. Устанавливаются в месте выделения вредоносных отходов. Их задача захватывать и убрать загрязненный воздух из технологической зоны.

**Воздуховоды,** через которые загрязненный воздух от источника загрязнения транспортируется к устройствам очистки.

**Вентиляторы** для перемещения воздуха.

### **Задание 1. Расчет системы газоочистки и аспирации мельниц**

Систему аспирации применяют для того, чтобы уменьшить пылевыведение при работе цементных мельниц путем создания в их полости отрицательного давления, обеспечить охлаждение цемента, а также увеличить производительность мельниц.

Для обеспыливания аспирационного воздуха мельниц целесообразно применять трехступенчатую систему, как наиболее эффективную и состоящую из аспирационной коробки, циклона и рукавного фильтра или электрофильтра. Система аспирации работает наиболее эффективно при скорости воздуха в полости барабана мельницы  $U = 0,6 - 0,7$

м/с. Количество аспирационного воздуха (в м<sup>3</sup>/ч), просасываемого через пространство мельницы за 1 ч, определяют по формуле:

$$V_2 = F_m \cdot U_r \cdot 3600 \cdot (1 - \varphi),$$

Где  $F_m$  – площадь сечения мельницы в свету, м<sup>2</sup>;  $U_r$  – скорость воздуха, м/с. Как показывает практика, чтобы прососать расчетный объем воздуха через мельницу, вентилятору приходится перекачивать его в большом количестве. Это объясняется подсосом воздуха из атмосферы через неплотности системы аспирации. По отношению к воздуху, проходящему через мельницу и принятому за 100%, подсос через неплотности в аспирационной коробке составляет 50, циклонах – 10, в рукавных и электрофильтрах – 40%.

Поэтому после расчетов количества воздуха, проходящего через мельницу, надо рассчитать, сколько воздуха пройдет с учетом подсоса через аспирационную коробку (коэффициент 1,5), через циклоны (коэффициент 1,6), фильтры и вентиляторы (коэффициент 2,0).

### Задание 2. Расчет сечения и высоты аспирационной шахты

Аспирационная шахта – воздухопровод прямоугольного сечения с соотношением сторон  $a:b$ , равны 1:1 (квадратное сечение), или 2:3 (прямоугольное сечение). Скорость воздуха ( $\omega$ ) в поперечном сечении шахты составляет 1 – 1,5 м/с. Площадь поперечного сечения шахты в м определяется по формуле:

$$F_{ш} = \frac{V^m}{3600 \cdot \omega_i},$$

где  $V^m$  – объем аспирационного газа, проходящего через шахту, м<sup>3</sup>/ч;  $\omega_i$  – скорость воздуха, м/с. Размер одной из сторон шахты  $a$ , параллельной оси мельницы, находят по формуле:

$$a = \sqrt{\frac{F_{ш}}{n}},$$

где  $F_{ш}$  – площадь сечения шахты, м<sup>2</sup>;  $n$  – соотношение сторон, равное 1:1 или 2:3. Высота шахты определяется по формуле:

$$h = 5,5 \cdot \frac{2an}{1+n},$$

На второй ступени обеспыливания применяют циклоны (батареиные) сухой очистки типа ЦН-15. Выбор соответствующего количества циклонов и их диаметра осуществляется по таблице. При этом следует учитывать, что степень очистки газа растет с уменьшением диаметра циклона

### Задание 3. Расчет циклона

- По таблице 1 определяют оптимальную скорость газа в аппарате  $V_{\text{опт}}$  и дисперсию распределения значений фракционной эффективности пылеуловителя  $I_g \sigma_{\eta}$ .
- Рассчитывают необходимую площадь сечения циклона, м.  
 $F = Q / (V_{\text{опт}} \cdot 3600)$   
 Где  $Q$  – объем очищаемого газа (м<sup>3</sup>/ч);  
 $3600$  – перевод  $V_{\text{опт}}$  в м<sup>3</sup>/ч
- Определяют диаметр циклона, (м)  
 $D = \sqrt{F / 0,785}$   
 Где  $F$  – площадь сечения циклона.  
 Диаметр циклона округляют до величины из стандартного ряда диаметров по таблице 2.
- Вычисляют действительную скорость газа в циклоне (м/с):  
 $v = Q / (0,785 D^2 \cdot 3600)$

3600 – перевод Q в (м/с);  
 Q – объем очищаемого газа (м<sup>3</sup>/ч);  
 D – диаметр циклона, м.

скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более, чем на 15 %.

5. Рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона. Индекс «с» обозначает, что циклон работает в гидравлической сети, т.е. не прямой выброс в атмосферу.

$\zeta_{ц} = k_1 \cdot k_2 \cdot \zeta_{ц500}^c + k_3$ ,  
 где  $k_3$  для одиночных источников равно 0.  
 $\zeta_{ц500}^c$  – выбираем согласно таблице 3  
 $k_1$  и  $k_2$  – согласно таблице 4 и 5

6. Определяют потери давления в циклоне, Па

$$\Delta P = \zeta_{ц} \cdot ((\rho_r \cdot v^2) / 2)$$

где  $\rho_r$  – плотность воздуха при рабочих условиях 0,9 кг/м<sup>3</sup>;  
 $\zeta_{ц}$  и  $v$  – берем из расчета в пункте 4 и 5.

Допустимая величина потери давления в циклоне 0,7—1,2 кПа. При необходимости повышения эффективности циклона верхний предел 1,2 кПа можно превысить, сообразуясь с общей величиной давления, которую может обеспечить вентилятор. Принимать потерю давления в циклоне ниже 0,5 кПа не рекомендуется из-за значительного уменьшения эффективности очистки воздуха

7. Используя данные таблицы 1 и 8, проведенных расчетов и условие задания, определяют диаметр частиц, улавливаемых в аппарате на 50% при рабочих условиях

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D \cdot \rho_{чм} \cdot \mu \cdot v_m}{D_m \cdot \rho_{ч} \cdot \mu_m \cdot v}}$$

где  $d_{50}^T$  – параметр пыли (мкм);  
 - для эффективности 50 % экспериментальные условия:  
 $\rho_{чт}$  – плотность частиц  $1,93 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  
 $D_m$  – диаметр циклона 0,6 м;  
 $\mu_m$  – динамическая вязкость газа  $22,2 \cdot 10^{-6}$  (Н·с)/м<sup>2</sup>;  
 $v_m$  – средняя скорость газа в циклоне 3,5 м/с;  
 - условия задания и расчетные данные:  
 $v$  – действительная скорость газа в циклоне (м/с);  
 $D$  – диаметр циклона (м)  
 $\mu$  – динамическая вязкость воздушного потока (Н·с)/м<sup>2</sup>;  
 $\rho_{ч}$  – плотность частицы кг/м<sup>3</sup>;

8. Если распределение подлежащих улавливанию частиц пыли на входе в аппарат является нормально-логарифмическим, то зависимость полного коэффициента очистки выражена следующим образом:

$$\eta = \Phi(X)$$

Определяют параметр X по формуле

$$X = \lg(d_r / d_{50}) / \sqrt{(\lg \sigma_\eta)^2 + (\lg \sigma_u)^2}$$

Где  $\lg \sigma_\eta$  и  $\lg \sigma_u$  – представлены в таблице 5.

9. По таблице 6 определяем полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях. Переводим его в проценты:

$$\Phi(x) = \Phi(X) \cdot 100 (\%)$$

10. По таблице 7 определяем класс пылеуловителя, размер эффективно улавливаемых частиц пыли.

Таблица 1 Параметры, определяющие эффективность работы циклонов

параметры	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34
-----------	-------	--------	-------	-------	-----------	----------

$d_{50}^r$ , МКМ	8,5	6,0	4,5	3,65	2,31	1,95
$Ig \sigma_{\eta}$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308
$Ig \sigma_{\chi}$	0,2	0,26	0,18	0,33	0,15	0,2
$\gamma_{opt}$ , м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2	1,7

Таблица 2 Стандартный ряд диаметра циклона

Тип циклона	Стандартный ряд диаметра циклона
ЦН, СК,СДК	0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0.

Таблица 3 Значения коэффициентов сопротивления одиночного циклона

Тип циклона	$\zeta_{ц 500}^c$
ЦН-11	245
ЦН-15	155
ЦН-15У	165
ЦН-24	75
СДК-ЦН-33	520
СК-ЦН-34	1050

Таблица 4 Поправочный коэффициент  $k_1$  на диаметр циклона

Диаметр циклона, м	ЦН-11	ЦН-15; ЦН-24	СДК-ЦН-33; СК-ЦН-34
0.2	0.95	0.9	1
0.3	0.96	0.93	1
0.4	0.99	1	1
0.5	1	1	1
более	1	1	1

Таблица 5 Поправочный коэффициент  $k_2$  на запыленность газа

Тип циклона	Поправочный коэффициент $k_2$ на запыленность газа, г/м <sup>3</sup>					
	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	0.96	0.94	0.92	0.9	0.87	0.5
ЦН-15	0.93	0.92	0.91	0.9	0.87	0.86
ЦН-15У	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87
ЦН-24	0.95	0.93	0.92	0.9	0.87	0.86
СДК-ЦН-33	0.81	0.785	0.78	0.77	0.76	0.745
СК-ЦН-34	0.98	0.947	0.93	0.915	0.91	0.9

Таблица 6 Значение нормальной функции распределения

X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$
-0,02	0,492	1,06	0,8554
0	0,5	1,84	0,9671
0,76	0,7764	1,86	0,9686
0,78	0,7823	1,88	0,9699
0,8	0,7881	1,9	0,9713

0,82	0,7939	1,92	0,9726
0,84	0,7995	1,94	0,9738
0,86	0,8051	1,96	0,9750
0,88	0,8106	1,98	0,9761
0,9	0,8159	2,0	0,9772
0,92	0,8212	2,1	0,9821
0,94	0,8264	2,2	0,9861
0,96	0,8315	2,3	0,9893
0,98	0,8365	2,4	0,9918
1,00	0,8413	2,5	0,9938
1,02	0,8461	2,6	0,9953
1,04	0,8508	2,7	0,9965

Таблица 7 Классификация пылеуловителей

Класс пылеуловителя	Размер улавливаемых частиц, мкм	Группа пыли по дисперсности	Ф(х) Эффективность пылеуловителя пыли, (масс %)
I	> 0,3 – 0,5	V	< 80
		IV	80 -99,9
II	> 2	IV	45-92
		III	92-99,9
III	> 4	III	80-99,0
		II	99,0-99,9
IV	> 8	II	95,0-99,9
		I	> 99.9
V	> 20	I	> 99.9

Таблица 8 Динамическая вязкость воздуха

Температура, °С	Вязкость, Н·с/м <sup>2</sup>	Температура, °С	Вязкость, Н·с/м <sup>2</sup>	Температура, °С	Вязкость, Н·с/м <sup>2</sup>
-50	14,6×10 <sup>-6</sup>	80	20,9×10 <sup>-6</sup>	350	31,4×10 <sup>-6</sup>
-20	16,3×10 <sup>-6</sup>	90	21,6×10 <sup>-6</sup>	400	21,8×10 <sup>-6</sup>
0	17,1×10 <sup>-6</sup>	100	21,7×10 <sup>-6</sup>	500	36,1×10 <sup>-6</sup>
10	17,7×10 <sup>-6</sup>	120	22,7×10 <sup>-6</sup>	600	39,2×10 <sup>-6</sup>
20	18,2×10 <sup>-6</sup>	140	23,5×10 <sup>-6</sup>	800	44,4×10 <sup>-6</sup>
30	18,7×10 <sup>-6</sup>	160	24,1×10 <sup>-6</sup>	1000	49,5×10 <sup>-6</sup>
40	19,2×10 <sup>-6</sup>	180	24,9×10 <sup>-6</sup>	1200	53,9×10 <sup>-6</sup>
50	19,6×10 <sup>-6</sup>	200	25,8×10 <sup>-6</sup>	1400	57,5×10 <sup>-6</sup>
60	20,1×10 <sup>-6</sup>	250	27,8×10 <sup>-6</sup>	1600	61,5×10 <sup>-6</sup>
70	20,3×10 <sup>-6</sup>	300	29,7×10 <sup>-6</sup>	1800	65,5×10 <sup>-6</sup>

### Ход выполнения работы

1. Изучить теоретический материал
2. По заданию преподавателя провести расчет
  1. Системы газоочистки и аспирации мельниц
  2. Сечения и высоты аспирационной шахты
  3. Циклона
3. Подготовить отчет по практической работы

### Раздел 3. Защита работников от физических загрязнений

#### Практическая работа № 6

#### Оценка эффективности защитных конструкций

##### Тема 1. Защита от шума

##### Теоретическая часть

Классификация средств и методов защиты от шума определена ГОСТ 12.1.029-80.

По отношению к защищаемому объекту средства и методы защиты подразделяются на:

- средства и методы коллективной защиты;
- средства индивидуальной защиты.

Коллективные средства в зависимости от способа реализации подразделяются на 3 группы: архитектурно-планировочные; организационно-технические; акустические.

Архитектурно-планировочные методы защиты включают:

рациональные акустические решения планировок зданий и генеральных планов объектов;

рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов;

рациональное размещение рабочих мест;

рациональное акустическое планирование зон и режима движения транспортных средств и транспортных потоков;

создание шумозащищенных зон в различных местах нахождения человека.

Технические подразделяются на 2 группы:

- 1) Снижение в источнике возникновения
- 2) Снижение на пути распространения

Организационные: ограничение транспортных потоков, рациональное расположение предприятий, рациональное расположение рабочих мест.

К организационно-техническим методам защиты относят:

применение малошумных технологических процессов (изменение технологии производства, способа обработки и транспортирования материала и др.);

оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;

применение малошумных машин, изменение конструктивных элементов машин, их сборочных единиц;

совершенствование технологии и обслуживания машин;

использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

Акустические средства защиты от шума в зависимости от принципа действия классифицируются на:

средства звукоизоляции;

средства звукопоглощения;

средства виброизоляции;

средства демпфирования;

глушители шума.

Средства индивидуальной защиты человека от шума в зависимости от конструктивного исполнения подразделяются на:

противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;

противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;

противошумные шлемы и каски.

Средства и методы коллективной защиты

Наиболее эффективный метод уменьшения шума – снижение шума в источнике его возникновения. В зависимости от характера образования шума различают:

средства, снижающие шум механического (вибрационного) происхождения;

средства, снижающие шум аэродинамического происхождения;



средства, снижающие шум электромагнитного происхождения;  
средства, снижающие шум гидродинамического происхождения.

Для уменьшения механического шума необходимо своевременно проводить ремонт оборудования, заменять ударные процессы на безударные возвратно-поступательные перемещения деталей на вращательные, шире применять принудительное смазывание трущихся поверхностей, применять балансировку вращающихся частей. Значительное снижение шума достигается при замене подшипников качения на подшипники скольжения, зубчатых и цепных передач – клиноременными и гидравлическими, металлических деталей – деталями из пластмасс.

Снижения аэродинамического шума можно добиться уменьшением скорости обтекания воздушными потоками препятствий; улучшением аэродинамики конструкций, работающих в контакте с потоками; снижением скорости истечения газовой струи и уменьшением диаметра отверстия, из которого эта струя истекает. Однако уменьшить аэродинамические шумы в источнике их возникновения зачастую не удастся и приходится использовать другие средства борьбы с ними (применение звукоизоляции источника, установка глушителей).

Гидродинамические шумы снижают за счет выбора оптимальных режимов работы насосов для перекачивания жидкостей, правильного проектирования и эксплуатации гидросистем и ряда других мероприятий.

Для борьбы с шумами электромагнитного происхождения рекомендуется тщательно уравнивать вращающиеся детали электромашин (ротор, подшипники), осуществлять тщательную притирку щеток электродвигателей, применять плотную прессовку пакетов трансформаторов, использовать демпфирующие материалы и т.д.

Широкое применение получили акустические средства защиты от шума на пути его распространения:

средства звукоизоляции;  
средства звукопоглощения;  
глушители шума.

#### 1. Звукоизоляция

Метод основан на снижении шума за счёт отражения звуковой волны от преграды.

Звукоизоляция применяется в виде ограждений, перегородок, экранов, кожухов, кабин и глушителей шума. Для звукоизоляции применяют материалы с большим удельным весом. Звукоизолирующие свойства ограждения определяются коэффициентом звукопроницаемости  $\tau$ , который представляет собой отношение: прошедшей через перегородку энергии к падающей энергии. Величина обратная коэффициенту проницаемости называется звукоизоляцией и обозначается  $R$ .

Наиболее шумные механизмы и машины закрывают звукоизолирующими кожухами, изготовленными из конструкционных материалов (стали, сплавов алюминия, пластмасс, ДСП и др.). Внутренняя поверхность кожуха обязательно должна облицовываться звукопоглощающими материалами толщиной 30÷50 мм для повышения его эффективности. Стенки кожуха не должны соприкасаться с изолируемой машиной.

Звукоизолирующие кабины представляют собой локальные средства шумозащиты, устанавливаемые на автоматизированных линиях у постов управления и рабочих местах в шумных цехах для изоляции человека от источника шума. Их изготавливают из кирпича, бетона, стали, ДСП и других материалов. Окна и двери кабины должны иметь специальное конструктивное исполнение. Окна с двойными стеклами по всему периметру заделываются резиновой прокладкой, двери выполняются двойными с резиновыми прокладками по периметру.

Если нет возможности полностью изолировать либо источник шума, либо самого человека с помощью ограждений, кожухов и кабин, то частично уменьшить влияние шума можно путем создания на пути его распространения акустических экранов. Они представляют собой конструкцию, изготовленную из сплошных твердых листов (из

металла, фанеры, оргстекла и т.п.) толщиной не менее 1,5...2 мм 11, с покрытой звукопоглощающим материалом поверхностью. Акустический эффект экрана (снижение уровня шума) основан на:

1. образовании за экраном области звуковой тени – зона относительной тишины, возникающей за экраном или экранирующим сооружением куда звуковые волны проникают лишь частично (рис.1)



Рис. 1. Схема образования звуковой тени

Эффективность экрана зависит от длины звуковой волны по отношению к размерам препятствия, то есть от частоты колебаний (чем больше длина волны, тем меньше при данных размерах область тени за экраном, а следовательно, тем меньше снижение шума). Поэтому экраны применяют в основном для защиты от средне- и высокочастотного шума, а при низких частотах они малоэффективны, так как за счет эффекта дифракции звук легко их огибает. Важно также расстояние от источника шума до экранируемого рабочего места: чем оно меньше, тем больше эффективность экрана. В акустически необработанных помещениях снижение уровня шума экраном составляет обычно не более 2÷3 дБ. Эффективность экрана повышается при облицовке звукопоглощающими материалами, прежде всего, потолка помещения;

2. отражении звука от конструкции экрана;
3. поглощении звука звукопоглощающим материалом, покрывающим поверхность экрана. Плоские экраны эффективны в зоне действия прямого звука, начиная с частоты 500 Гц; вогнутые экраны различной формы (П-образные, С-образные и т.д.) эффективны также в зоне отраженного звука, начиная с частоты 250 Гц.

## 2. Звукопоглощение

Метод основан на снижении шума за счёт перехода звуковой энергии в тепловую в порах звукопоглощающего материала. Большая удельная поверхность звукопоглощающих материалов, которая создается стенками открытых пор, способствует активному преобразованию энергии звуковых колебаний в тепловую. Это происходит из-за потерь на трение. То есть звуковая волна должна без проблем заходить в поры материала, вызывать колебание находящихся там молекул воздуха и за счет трения, возникающего как непосредственно между этими молекулами, так и между молекулами и материалом вокруг поры, и угасать, переходя в тепло.

Использование звукопоглощения для снижения шума в помещении называется акустической обработкой помещения, которая сводится к нанесению на потолок и стены звукопоглощающих материалов.

Эффективность поглощения звука оценивают при помощи коэффициента звукопоглощения  $\alpha$ , который равен отношению количества поглощенной энергии к общему количеству падающей на материал энергии звуковых волн.

Звукопоглощающие материалы отличаются волокнистым, зернистым или ячеистым строением и делятся на группы по степени жесткости: твердые, полужесткие, мягкие.

У твердых материалов объемная масса составляет 300—400 кг/м<sup>3</sup> и коэффициент звукопоглощения порядка 0,5. Производят на основе гранулированной либо суспензированной минеральной ваты. Сюда же относятся материалы, в состав которых входят пористые наполнители — вермикулит, пемза, вспученный перлит.

Группа полужестких материалов включает в себя минераловатные или стекловолоконные плиты с объемной массой от 80—130 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом звукопоглощения в пределах 0,5—0,75. Сюда же входят звукопоглощающие материалы с ячеистым строением — пенополистирол, пенополиуретан и т. п.

Мягкие звукопоглощающие материалы производят на основе минеральной ваты или стекловолокна. В эту группу входят маты или рулоны с объемной массой до 70 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом звукопоглощения 0,7-0,95. Сюда же относятся такие всем известные звукопоглотители, как вата, войлок и т. д.

Для защиты материала от механических повреждений и высыпаний используют ткани, сетки, пленки, а также перфорированные экраны.

Кроме того звукопоглощение может производиться путем внесения в изолированный объем штучного звукопоглотителя, изготовленного например в виде куба, подвешенного к потолку (рис.2).

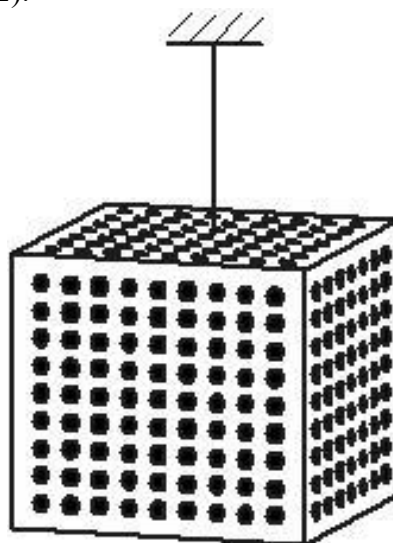


Рис.2. Звукопоглотитель

3. Глушители шума применяют для снижения аэродинамического шума, создаваемого вентиляторами, дросселями, диафрагмами и т. д. и распространяющегося по воздуховодам систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Основной источник шума в вентиляционных установках - вентилятор, причём преобладающим является аэродинамический шум, который имеет широкополосный спектр.

Установка в систему вентиляции (кондиционирования) шумоглушителей является одной из эффективных мер по снижению аэродинамического шума в воздушном потоке.

По принципу действия глушители шума делятся на глушители:

- активного (абсорбционного) типа;
- реактивного (отражающего) типа;
- комбинированные.

В глушителях активного типа снижение шума происходит за счет превращения звуковой энергии в тепловую в звукопоглощающем материале (т.е. за счет потерь звуковой энергии на трение в звукопоглощающем материале), размещенном во внутренних полостях воздуховодов. Глушители этого типа эффективны в широком диапазоне частот. К наиболее распространенным глушителям абсорбционного типа относится облицованный звукопоглощающим материалом аэродинамический тракт, так называемый трубчатый глушитель. Трубчатый шумоглушитель выполняется в виде двух круглых или прямоугольных труб, вставленных одна в другую. Пространство между наружной (гладкой) и внутренней (перфорированной) трубой заполнено звукопоглощающим материалом, например, стекловолокном, покрытым тонким слоем пластика. Размеры внутренней трубы совпадают с размерами воздуховода, на котором устанавливается шумоглушитель.

На рис. 3 показан трубчатый шумоглушитель, состоящий из кожуха 1, диафрагмы 2 и каркаса 3. Пространство между кожухом и каркасом равномерно заполнено по длине и сечению звукопоглощающим материалом 4. Каркас защищает звукопоглощающий материала от выдувания потоком воздуха. Каркас выполнен из перфорированного оцинкованного стального листа и обтянут стеклотканью. Перфорированные листы для каркаса изготавливаются с двумя видами перфорации: диаметр отверстий 3 мм, шаг 5 мм и отверстий 12мм, шаг 20 мм. Перфорированные листы с отв. 3 мм, шаг 5 мм, стеклотканью не обтягиваются.

Трубчатые шумоглушители применяют на воздуховодах диаметром до 500 мм. Величина понижения шума в шумоглушителе, при равных показателях скорости воздуха, зависит, главным образом, от толщины и местоположения звукопоглощающих слоев, а также длины самого шумоглушителя, имеющего, как правило, стандартную длину 600,900 и 1200 мм.

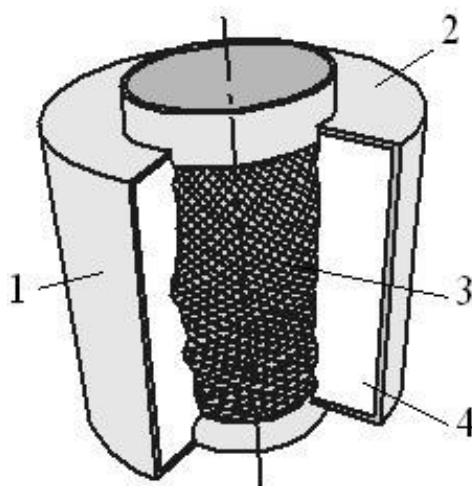


Рис. 3. Трубчатый шумоглушитель

В реактивных глушителях (рис.4) снижение шума обеспечивается за счет отражения части звуковой энергии обратно к источнику. Звуковые волны, попадая в полость реактивного глушителя, возбуждают в нем собственные колебания, поэтому в одних частотных диапазонах происходит ослабление звука, в других – усиление. Глушители этого типа представляют по сути акустические фильтры и характеризуются чередующимися полосами заглушения и пропускания звука, а поэтому применяются для снижения шума с резко выраженными дискретными составляющими спектра.

**Задание 1. Произвести проверочный расчет снижения уровня шума в помещении персонала со стороны погрузочно-разгрузочной площадки грузового двора за счет экрана.**

**Пример выполнения задания:**

Исходные данные для расчета

Расстояние от экрана, м:

до источника шума 25

до помещения 25

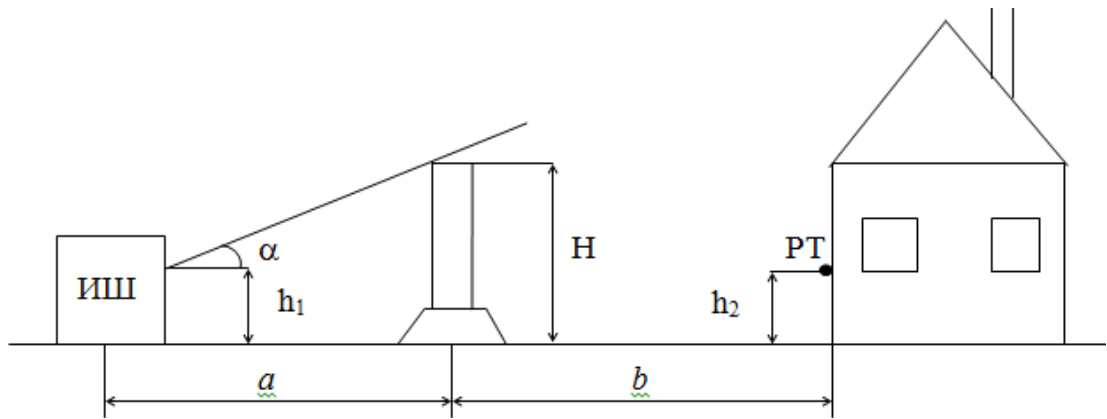
Высота экрана, м 3,25

Уровни звукового давления шума, дБ для среднегеометрических частот октавных полос, Гц

Частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления, дБ	89	87	85	81	83	77	75	73	69

Расчет:

1. Расчетная схема экрана (рис.1).



Расчетная точка и источник шума находятся на одном уровне ( $h_1 = h_2$ ).

Принимаем высоту источника шума  $h_1 = 2,0$  м и угол  $\alpha = 45^\circ$ .

Допустимый уровень принимаем по предельному спектру ПС-75. Сравниваем фактический уровень шума и допустимый. Данные записываем в таблицу.

Частота, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления, дБ	89	87	85	81	83	77	75	73	69
ПС-75, дБ	107	95	87	82	78	75	73	71	69
Превышение, дБ	-18	-12	-2	-1	5	2	2	2	0

2. Определить критерий затухания  $W$  по формуле:

$$W = \frac{1,414 \cdot h}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{\frac{a+b}{ab}}$$

где  $\lambda$  - длина волны:

$$\lambda = \frac{344}{f_{\text{ср}}}$$

Проведем расчет для частоты 125 Гц:

$$\lambda = \frac{344}{125} = 2,752 \text{ м}$$

Тогда  $W$ :

$$W = \frac{1,414 \cdot 2}{\sqrt{2,752}} \sqrt{\frac{25+25}{25 \cdot 25}} = 0,96$$

Снижение уровня звука экраном – стенкой  $L_{\text{экр}}$ , дБ, определяется по графику на рис. 2.

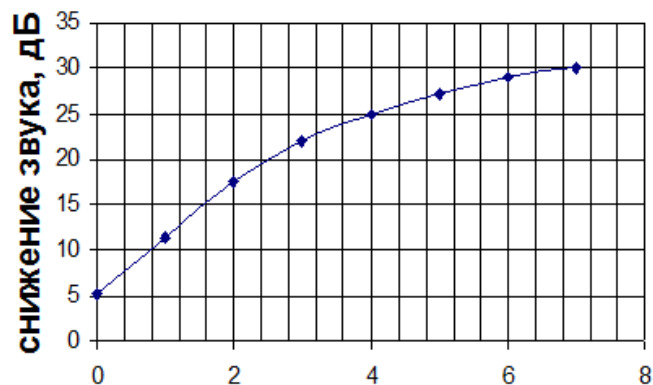


Рис.2 - Зависимость эффективности экрана от критерия  $W$ .

$$L_{\text{экp}500}=10 \text{ дБ}$$

3. Рассчитаем уровни шума с учетом их снижения:

$$L_{\text{pт}2} = L_{\text{pт}} - L_{\text{экp}}$$

$$L_{\text{pт}2} = 83 - 10 = 73 \text{ дБ}$$

Аналогично проводим расчеты для остальных частот и сводим результаты в таблицу.

Параметр	УЗД в октавных полосах частот				
	500	1000	2000	4000	8000
$\lambda$	0,7	0,3	0,2	0,09	0,04
W	0,96	1,36	1,93	2,73	3,86
$L_{\text{экp}}$ , дБ	10	13	16	21	24
$L_{\text{pт}}$ , дБ	83	77	75	73	69
$L_{\text{pт}2}$ , дБ	73	64	59	52	45
$L_{\text{норм}}$ , дБ	78	75	73	71	69

Вывод: Использование данного экрана позволит снизить уровни шума до нормы во всех диапазонах частот.

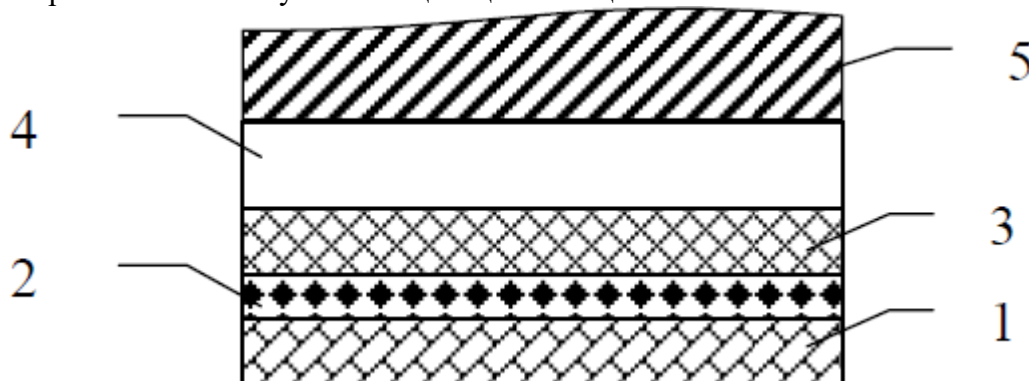
#### Ход выполнения задания:

1. Изучить теоретический материал по теме практической работы
2. Изучить пример проверочного расчета снижения уровня шума в помещении персонала со стороны погрузочно-разгрузочной площадки грузового двора за счет экрана.
3. По заданию преподавателя провести проверочный расчет снижения уровня шума в помещении персонала со стороны погрузочно-разгрузочной площадки грузового двора за счет экрана.
4. Оформить отчет по практической работе

#### Задание 2. Установить эффективность звукопоглощающих облицовок стен и потолка

##### Порядок решения.

Эскиз расположения звукопоглощающей облицовки.



1 – защитный перфорированный слой, 2 – звукопоглощающий материал, 3 – защитная стеклоткань, 4 – воздушный промежуток, 5 – ограждающая конструкция.

Определить необходимое снижение уровней звукового давления для каждой октавной полосы частот.

Измеренные уровни звукового давления в помещении до акустической обработки сравнить с допустимыми уровнями (таблица 1). Результаты сравнения привести в таблице 2.

Таблица 1 – Предельно допустимые уровни звукового давления для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

№ пп	Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38
2	Рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49
3	Рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону; машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки	96	83	74	68	63	60	57	55	54
	информации на вычислительных машинах									

№ пп	Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64
5	Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в п.п. 1-4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69
6	Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровозов, поездов метрополитена, дизель-поездов и автомотрис	107	95	87	82	78	75	73	71	69
7	Рабочие места в кабинах машинистов скоростных и пригородных электропоездов	103	91	83	77	73	70	68	66	64

Таблица 2 – Сравнение с нормированной величиной

Параметр	Значения уровня звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Измеренные УЗД, дБ									
Допустимый УЗД, дБ									
Превышение допустимого УЗД, дБ									

Произвести расчет только для тех частот, в которых есть превышение допустимых норм.

Определить суммарное звукопоглощение до облицовки для каждой октавной полосы частот А0.

Подробный расчет выполнить на примере  $f_{ср} = 1000$  Гц.

Величина звукопоглощения рассчитывается по формуле:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i$$

Таблица 3 – Значение коэффициента звукопоглощения для различных материалов

Название материала или конструкции	Коэффициент звукопоглощения $\alpha$ для среднегеометрических частот, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Строительные материалы</b>									
Бетонная стена гладкая, неокрашенная	—	—	0,010	0,012	0,015	0,019	0,023	0,035	—
Кирпичная стена нештукатуренная	—	—	0,024	0,025	0,032	0,042	0,049	0,070	—
Штукатурка гипсовая гладкая по кирпичной стене, окрашенная	—	—	0,012	0,013	0,017	0,020	0,023	0,025	—
Плиты сухой штукатурки	—	—	0,020	0,050	0,060	0,080	0,040	0,060	—
Линолеум толщиной 5 мм на твердой основе	—	—	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	—
Стекло одинарное	—	—	0,035	0,03	0,027	0,024	0,02	0,02	—
Двери лакированные	—	—	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04

Определить площади ограждающих конструкций

- потолка и пола:

$$S_{пол} = S_{пот} = l \cdot b$$

где  $l$  – длина помещения, м;

$b$  – ширина помещения, м.

- стен:



$$S_{cm} = (l \cdot h \cdot 2) + (b \cdot h \cdot 2)$$

где  $l$  – длина помещения, м;

$b$  – ширина помещения, м;

$h$  – высота помещения, м.

Рассчитать эквивалентные площади звукопоглощения необработанного помещения, выбирая значения коэффициентов звукопоглощения из таблицы 3:

- потолок:

$$A_{пот0} = \alpha \cdot S_{пот}$$

где  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения;

$S$  – площадь потолка.

- пол:

$$A_{пол0} = \alpha \cdot S_{пол}$$

где  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения;

$S$  – площадь пола.

- стены:

$$A_{ст0} = \alpha \cdot S_{ст}$$

где  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения;

$S$  – площадь стен.

- окна:

$$A_{ок0} = \alpha \cdot S_{ок}$$

где  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения;

$S$  – площадь окон.

- дверь:

$$A_{дв0} = \alpha \cdot S_{дв}$$

где  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения;

$S$  – площадь двери.

Эквивалентная площадь звукопоглощения необработанного помещения может быть представлена выражением:

$$A_{пом0} = A_{пот0} + A_{пол0} + A_{ст0} + A_{ок0} + A_{дв0}$$

где  $A_{пот}$ ,  $A_{пол}$ ,  $A_{ст}$ ,  $A_{ок}$ ,  $A_{дв}$  – эквивалентные площади звукопоглощения необработанного потолка, пола, стен, окон и дверей соответственно, м<sup>2</sup>.

Выполнив аналогичные расчеты для остальных среднегеометрических частот, результаты сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов эквивалентной площади звукопоглощения необработанного помещения  $A_{пом0}$

Параметр	Значения параметра на среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Потолок $S_{\text{пот}} =$									
$\alpha_{\text{пот}}$									
$A_{\text{пот}0}$									
Пол $S_{\text{пол}} =$									
$\alpha_{\text{пол}}$									
$A_{\text{пол}0}$									
Стены $S_{\text{ст}} =$									
$\alpha_{\text{ст}}$									
$A_{\text{ст}0}$									
Окна $S_{\text{ок}} =$									
$\alpha_{\text{ок}}$									
$A_{\text{ок}0}$									
Дверь $S_{\text{дв}} =$									
$\alpha_{\text{дв}}$									
$A_{\text{дв}0}$									
Эквивалентная площадь звукопоглощения помещения $A_{\text{пом}0}$ (м <sup>2</sup> )									
$A_{\text{пом}0}$									

Подобрать материал по таблице 5 (чем выше значение коэффициента звукопоглощения  $\alpha$ , тем выше звукопоглощающая способность материала) и рассчитать эквивалентные площади звукопоглощения обработанного помещения (кроме окон и дверей, т.к. они не обрабатываются).

Таблица 5 – Значение коэффициента звукопоглощения для различных материалов

Название материала или конструкции	Коэффициент звукопоглощения $\alpha$ для среднегеометрических частот, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Акустическая штукатурка	–	–	0,22	0,27	0,31	0,31	0,33	0,4	–
Щиты Бекешфи (холст на вате)	–	–	0,8	0,81	0,73	0,58	0,46	0,45	–
Древесноволокнистые плиты (ДВП), 12 мм	–	–	0,22	0,3	0,34	0,32	0,41	0,42	0,42
Плиты "Травертон", 18 мм вплотную к стене	–	–	0,02	0,14	0,65	0,9	0,87	0,86	0,92
Плиты "Травертон", 18 мм на 100 мм от стены	–	–	0,28	0,81	0,86	0,87	0,89	0,86	0,88
Плиты "Акмигран", 20 мм вплотную к стене	–	–	0,05	0,19	0,56	0,78	0,82	0,85	0,7
Плиты "Акмигран", 20 мм на 100 мм от стены	–	–	0,29	0,7	0,68	0,68	0,75	0,74	0,7
Древесностружечная плита (ДСП) 20 мм вплотную к стене	–	0,01	0,01	0,09	0,09	0,08	0,09	0,14	0,14
ДСП 20 мм на 100 мм от стены	–	0,24	0,27	0,08	0,04	0,02	0,08	0,1	0,16
Панель гипсовая 10 мм на 100 мм от стены	–	0,16	0,41	0,28	0,15	0,06	0,05	0,02	–
Винипор полужесткий, 30 мм	–	0,01	0,15	0,25	0,56	0,85	1	1	1
Винипор полужесткий, 60 мм	–	0,02	0,18	0,55	0,85	0,95	1	0,97	0,97
Маты из супертонкого стекловолокна, 50 мм	–	0,1	0,25	0,7	0,98	1	1	1	0,95
Маты из супертонкого базальтового волокна	–	0,1	0,2	0,9	1	1	0,95	0,95	1

Подробный расчет также выполнить для  $f_{сг} = 1000$  Гц для заданных ограждающих конструкций (стен, потолка или пола) по формулам (4) – (6).

Аналогичные расчеты провести для октавных полос во всем диапазоне среднегеометрических частот 31,5 – 8000 Гц.

Эквивалентную площадь звукопоглощения обработанного помещения определить по формуле:

$$A_{пом} = A_{пот} + A_{пол} + A_{ст} + A_{ок} + A_{дв}$$

где  $A_{пот}$ ,  $A_{пол}$ ,  $A_{ст}$ ,  $A_{ок}$ ,  $A_{дв}$  – эквивалентные площади звукопоглощения обработанного потолка, пола, стен, а также необработанных окон и дверей соответственно,  $m^2$ .

Все результаты расчета параметров акустически обработанного помещения свести в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов эквивалентной площади звукопоглощения обработанного помещения  $A_{пом}$

Параметр	Значения параметра на среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Потолок $S_{\text{пот}} =$									
$\alpha_{\text{пот}}$									
$A_{\text{пот}}$									
Пол $S_{\text{пол}} =$									
$\alpha_{\text{пол}}$									
$A_{\text{пол}}$									
Стены $S_{\text{ст}} =$									
$\alpha_{\text{ст}}$									
$A_{\text{ст}}$									
Эквивалентная площадь звукопоглощения помещения $A_{\text{пом}}$ (м <sup>2</sup> )									
$A_{\text{пом}}$									

Рассчитать эффективность (снижение уровня звукового давления) от применения выбранных материалов:

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{A_{\text{пом}}}{A_{\text{пом}_0}}$$

где  $A_{\text{пом}}$  – эквивалентная площадь звукопоглощения после облицовки помещения, м<sup>2</sup>;

$A_{\text{пом}_0}$  – эквивалентная площадь звукопоглощения необлицованного помещения, м<sup>2</sup>.

Дать гигиеническую оценку проведенным мероприятиям по снижению шума в помещении. С этой целью необходимые результаты свести в таблицу 7.

Таблица 7 – Оценка эффективности принятого решения

Параметр	Значение параметра, дБ, на среднегеометрической частоте, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Превышение допустимого УЗД, дБ									
Эффективность звукопоглощения, дБ									
Итог, дБ									

Сделать вывод

**Ход выполнения задания:**

1. Изучить теоретический материал по теме практической работы
2. Изучить порядок оценки эффективности звукопоглощающих облицовок стен и потолка
3. По заданию преподавателя провести оценку эффективности звукопоглощающих облицовок стен и потолка
4. Оформить отчет по практической работе

**Тема 2. Защита от вибрации**

**Теоретический материал**

Среди всех видов механических воздействий для технических объектов наиболее опасна вибрация. Знакопеременные напряжения, вызванные вибрацией, содействуют накоплению повреждений в материалах, появлению трещин и разрушению. Чаще всего и довольно быстро разрушение объекта наступает при вибрационных влияниях в условиях резонанса. Вибрация вызывает также и отказы машин, приборов.

По способу передачи на тело человека вибрацию разделяют на общую, которая передается через опорные поверхности на тело человека, и локальную, которая передается через руки человека. В производственных условиях часто встречаются случаи комбинированного влияния вибрации — общей и локальной.

Вибрация вызывает нарушения физиологического и функционального состояний человека. Стойкие вредные физиологические изменения называют вибрационной болезнью. Симптомы вибрационной болезни проявляются в виде головной боли, онемения пальцев рук, боли в кистях и предплечье, возникают судороги, повышается чувствительность к охлаждению, появляется бессонница. При вибрационной болезни возникают патологические изменения спинного мозга, сердечно-сосудистой системы, костных тканей и суставов, изменяется капиллярное кровообращение.

Функциональные изменения, связанные с действием вибрации на человека-оператора — ухудшение зрения, изменение реакции вестибулярного аппарата, возникновение галлюцинаций, быстрая утомляемость. Негативные ощущения от вибрации возникают при ускорении, которое составляет 5% ускорения силы веса, то есть при 0,5 м/с<sup>2</sup>. Особенно вредны вибрации с частотами, близкими к частотам собственных колебаний тела человека, большинство которых находится в границах 6..30, Гц.

Резонансные частоты отдельных частей тела следующие, Гц:

- глаза — 22...27;
- горло — 6...12;
- грудная клетка — 2...12;
- ноги, руки — 2...8;
- голова — 8...27;
- лицо и челюсти — 4...27;
- поясничная часть позвоночника — 4...14;
- живот — 4...12.

Общая вибрация классифицируется следующим образом:

- транспортная, которая возникает вследствие движения по дорогам;
- транспортно-технологическая, которая возникает при работе машин, которые выполняют технологические операции в стационарном положении или при перемещении по специально подготовленным частям производственных помещений, производственных площадок;

— технологическая, которая влияет на операторов стационарных машин или передается на рабочие места, которые не имеют источников вибрации.

**Защита от вибраций**

Общие методы борьбы с вибрацией базируются на анализе уравнений, которые описывают колебание машин в производственных условиях и классифицируются следующим образом:

снижение вибраций в источнике возникновения путем снижения или устранения возбуждающих сил;

регулировка резонансных режимов путем рационального выбора приведенной массы или жесткости системы, которая колеблется;

вибродемпферование — снижение вибрации за счет силы трения демпферного устройства, то есть перевод колебательной энергии в тепловую;

динамическое гашение — введение в колебательную систему дополнительной массы или увеличение жесткости системы;

виброизоляция — введение в колебательную систему дополнительной упругой связи с целью ослабления передачи вибраций смежному элементу, конструкции или рабочему месту;

использование индивидуальных средств защиты.

Снижение вибрации в источнике ее возникновения достигается путем уменьшения силы, которая вызывает колебание. Поэтому еще на стадии проектирования машин и механических устройств следует выбирать кинематические схемы, в которых динамические процессы, вызванные ударами и ускорением, были бы исключены или снижены.

Регулировка режима резонанса. Для ослабления вибраций существенное значение имеет предотвращение резонансных режимов работы с целью исключения резонанса с частотой принуждающей силы. Собственные частоты отдельных конструктивных элементов определяются расчетным методом по известным значениям массы и жесткости или же экспериментально на стендах.

Вибродемпфирование. Этот метод снижения вибрации реализуется путем превращения энергии механических колебаний колебательной системы в тепловую энергию. Увеличение расхода энергии в системе осуществляется за счет использования конструктивных материалов с большим внутренним трением: пластмасс, металлорезины, сплавов марганца и меди, никелетитановых сплавов, нанесения на вибрирующие поверхности слоя упруговязких материалов, которые имеют большие, потери на внутреннее трение. Наибольший эффект при использовании виброредукционных покрытий достигается в области резонансных частот, поскольку при резонансе значение влияния сил трения на уменьшение амплитуды возрастает.

Виброгашение. Для динамического гашения колебаний используются динамические виброгасители: пружинные, маятниковые, эксцентриковые гидравлические. Недостатком динамического гасителя является то, что он действует только при определенной частоте, которая отвечает его резонансному режиму колебаний.

Динамическое виброгашение достигается также установлением агрегата на массивном фундаменте.

Виброизоляция состоит в снижении передачи колебаний от источника возбуждения к объекту, который защищается, путем введения в колебательную систему дополнительной упругой связи. Эта связь предотвращает передачу энергии от колеблющегося агрегата к основе или от колебательной основы к человеку или к конструкциям, которые защищаются.

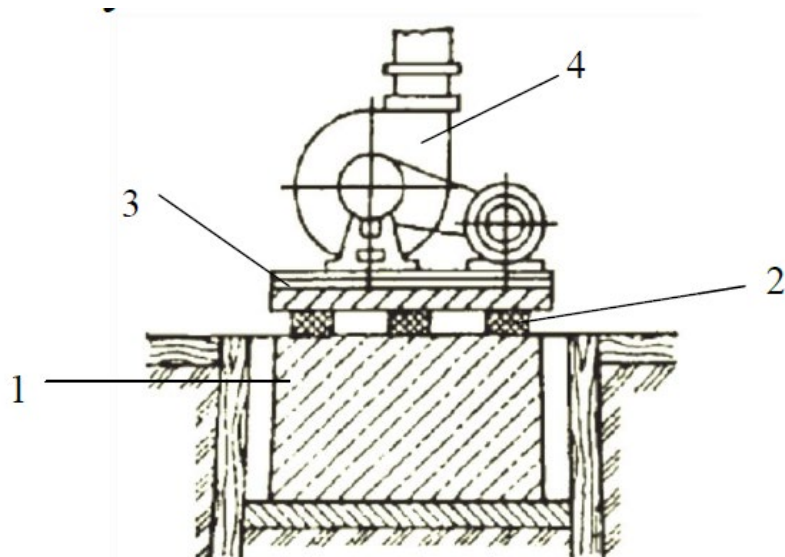
Средства индивидуальной защиты от вибрации применяют в случае, когда рассмотренные выше технические средства не позволяют снизить уровень вибрации до нормы. Для защиты рук используются рукавицы, вкладыши, прокладки. Для защиты ног — специальная обувь, подметки, наколенники. Для защиты тела — нагрудники, пояса, специальные костюмы.

## **Задание 1. Рассчитать виброизоляцию под двигатель**

### **Порядок расчета**

1. Расчетная схема установки показана на рисунке
2. Определяем частоту вынужденных колебаний (возмущающей силы)

$$f = \frac{n}{60} \text{ [Гц]}$$



1 – фундамент; 2 – амортизаторы; 3 – основание; 4 – установка

где  $n$  – частота вращения вала двигателя, об/мин.

3. Определяем статическую осадку амортизаторов

$$X_{cm} = \frac{h \cdot \sigma}{E_D} \quad [\text{см}]$$

где  $h$  – толщина прокладки, см, принимается самостоятельно;

$\sigma$  – допустимая нагрузка на прокладку, кгс/см<sup>2</sup>;

$E_D$  – динамический модуль упругости, кгс/см<sup>2</sup>.

4. Рассчитываем частоту собственных колебаний установки

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{X_{cm}}} \quad [\text{Гц}]$$

5. Рассчитываем соотношение частоты вынужденных и частоты собственных колебаний

$$\frac{f}{f_0} \geq 3$$

Если соотношение не удовлетворяет данному условию, меняют тип резины, увеличивают вес установки или увеличивают статическую осадку.

6. Определяем коэффициент колебаний виброизоляции

$$K = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{cm} \cdot n^2} \quad [\%]$$

7. Рассчитываем площадь всех прокладок под агрегат

$$S = \frac{(m_y + m_n) \cdot g}{\sigma} \quad [\text{см}^2]$$

где  $m_y$  – масса установки, кг;

$m_n$  – масса плиты, кг;

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

8. Определяем количество прокладок и их размеры

Самостоятельно принимаем количество прокладок под установку. Рассчитываем площадь одной прокладки

$$S_1 = \frac{S}{l} [\text{см}^2]$$

где  $l$  – количество прокладок.

Исходя из площади одной прокладки, принимаем размеры.

- для прокладок квадратного сечения

$$a = \sqrt{S_1} [\text{см}]$$

- для прокладок прямоугольного сечения

$$a = \frac{S_1}{b} [\text{см}]$$

где  $a$  и  $b$  - стороны четырехугольника.

9. Сделать вывод.

#### Ход выполнения задания:

1. Изучить теоретический материал по теме практической работы
2. Изучить порядок расчета виброизоляции под двигатель
3. По заданию преподавателя провести расчет виброизоляции под двигатель
4. Оформить отчет по практической работе

### Практическая работа № 7

#### Определение степени опасности поражения людей электрическим током

##### Теоретическая часть

Электрический ток, проходя через организм человека, вызывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие и может привести к поражению организма человека и даже смерти.

Опасность поражения током зависит от ряда факторов электрического сопротивления тела человека, величины частоты и рода тока, пути прохождения его через организм человека.

Электрическое сопротивление тела человека зависит от многих факторов, в том числе и от величины приложенного напряжения (рис. 1).

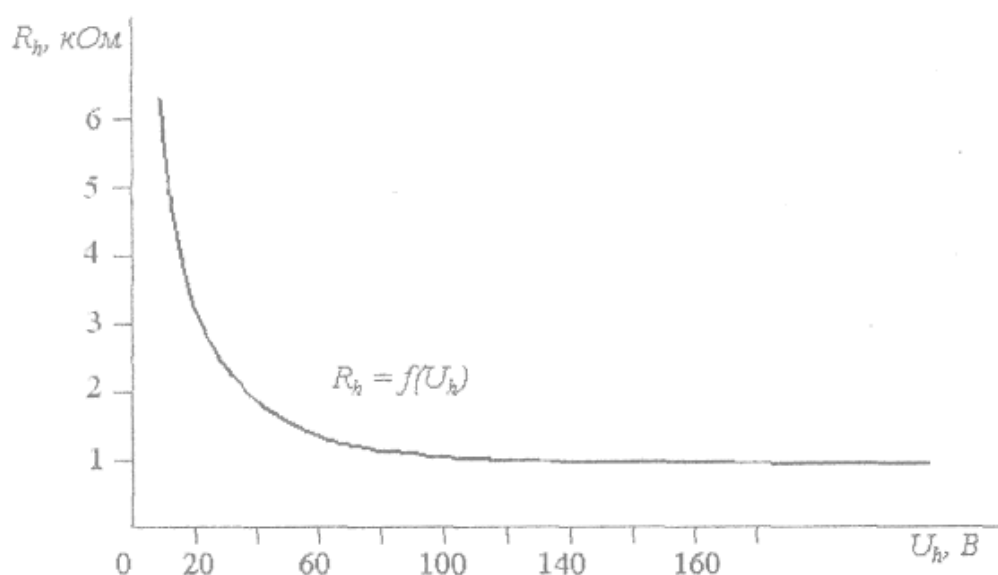


Рис. 1. Зависимость сопротивления тела человека от приложенного напряжения



При поражении человека электрическим током основным поражающим фактором является ток, проходящий через его тело. Рассмотрим характер воздействия токов разного значения.

Ток величиной 1,0 мА при частоте 50 Гц называют пороговым ощутимым. При таком токе наблюдается лёгкое пощипывание пальцев рук (путь прохождения тока рука-рука), и человек самостоятельно может оторвать (отдёрнуть) руку от токоведущей части.

Ток величиною 10 мА называют пороговым не отпускающим. При прохождении такого тока болезненные ощущения усиливаются, едва переносимы и охватывают всю руку, сопровождаясь непроизвольным сокращением её мышц. В результате человек не может разжать руку, в которой зажата токоведущая часть. При длительном прохождении такой ток нарушает работу лёгких и может привести к смерти.

Ток величиной 100 мА называют пороговым фибрилляционным. При прохождении такого тока через человека в течение 1...3 секунд наступает фибрилляция сердца. При этом нарушается не только кровообращение, но и дыхание, и в итоге наступает клиническая смерть.

Ток величиной 5 А и более, минуя стадию фибрилляции, вызывает мгновенную смерть.

Опасность поражения электрическим током зависит также от частоты и рода тока (рис. 2).

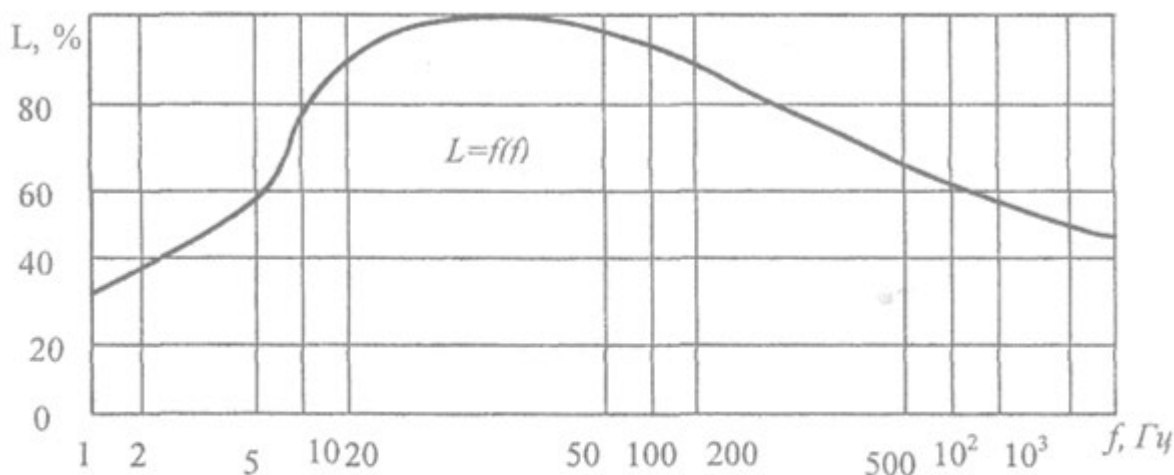


Рис. 2. Зависимость опасности поражения током от частоты приложенного напряжения



Наиболее опасным является ток промышленной частоты. Опасность поражения током начинает снижаться при частоте более 1 кГц и полностью исчезает при частоте 450...500 кГц.

Постоянный ток в 4...5 раз безопаснее переменного частотой 50 Гц, но это справедливо лишь для напряжения до 220 В.

Практически установлено, что на исход поражения существенное влияние оказывает путь прохождения тока в теле человека. Если на пути тока оказываются жизненно важные органы: сердце, легкие, головной мозг, то опасность поражения очень велика. Возможных путей (или петель) тока в теле человека много. Некоторые из них показаны на рис. 3.

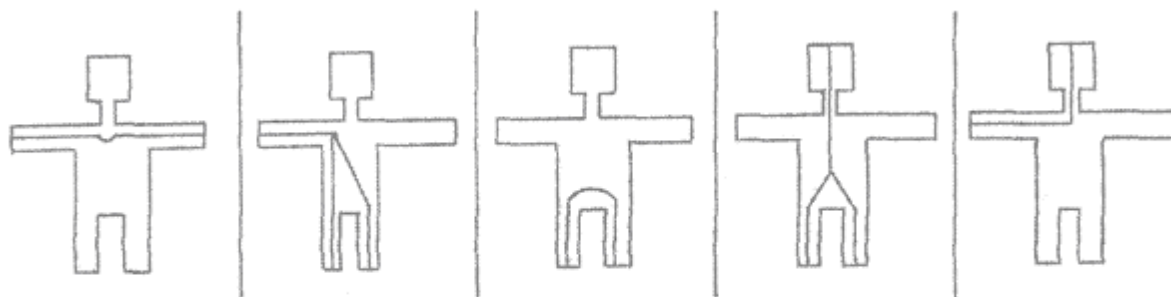


Рис. 3. Путь тока через организм человека

Наиболее опасными являются следующие пути тока: голова-руки, голова-ноги, рука-рука, рука-ноги). Наименее опасным является путь нога-нога, именуемый нижней петлёй тока и возникающий при попадании человека под шаговое напряжение.

Вероятность возникновения фибрилляции сердца зависит не только от значения тока, но и от времени прохождения его через организм человека. Защитные меры и средства защиты от поражения электрическим током должны создаваться с учётом допустимых для человека значений тока при данной длительности и пути его прохождения.

В настоящее время в РФ действует ГОСТ 12.1.000-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов», который распространяется на производственные и бытовые электроустановки постоянного и переменного токов и устанавливает нормы предельно допустимых для человека значений напряжения прикосновения и токов, протекающих через его тело. Они соответствуют прохождению тока через человека по пути рука-рука или рука-ноги.

Зависимость тока, протекающего через человека, в функции времени, соответствующая указанному выше ГОСТу, приведена на рис. 4.

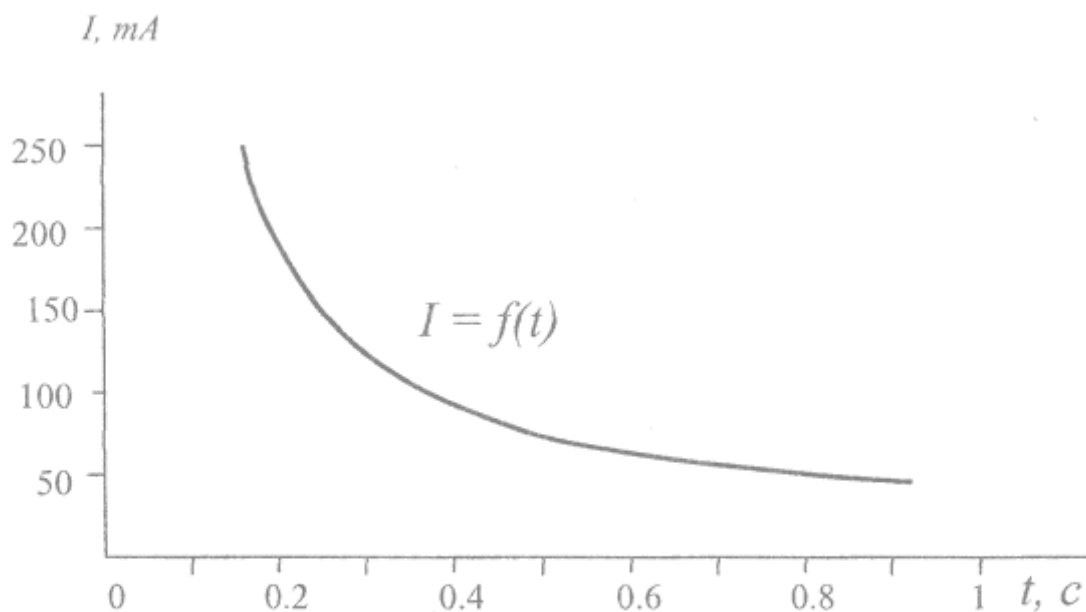


Рис. 4. Предельно-допустимые уровни токов в зависимости от времени

Наступление фибрилляции в области, заключённой между осями координат и кривой  $I = f(t)$ , маловероятно. Например, если через человека протекает ток 100 мА в течение 0,5 с (рис. 4), то фибрилляции не должно быть. При проектировании защит от поражения током необходимо учитывать требования ГОСТа.

**Действие электрического тока на организм человека** Термическое, состоит в ожогах, которые могут быть точечного типа, называется токовым ожогом четырех степеней:

- а) покраснение;
- б) пузыри;
- в) омертвление;
- г) выгорание тканей.

Токовый ожог, происходит при большом сопротивлении кожи, когда электрический ток не проходит через организм человека.

Дуговой, при приближении человека к линии высокого напряжения между поверхностью тела и проводником, возникает вольтова дуга ( $t=3500$ ).

Действие тока зависит от пути прохождения электрического тока через тело человека: опасным считается путь через сердце и легкие. Длительность воздействия тока 0,1 сек. может быть безопасной.

Для обеспечения электробезопасности в соответствии с Правилами устройства электроустановок применяются следующие методы:

Обеспечение недоступности, ограждение и блокировка токоведущих частей. Эти средства применяют для защиты от случайного попадания в опасную зону или прикосновения человека к токоведущим частям электроустановок. Высота ограждений опасных зон в электроустановках, находящихся в помещениях, должна быть не ниже 1,7 м, а на открытых площадках не менее 2 м. Блокировка представляет собой устройство, которое допускает определенный порядок отключения или снятия напряжения с токоведущих частей, исключая тем самым возможность попадания человека в опасную зону. Электрическая блокировка применяется для автоматического отключения электроустановки при открывании дверей, снятии ограждения, других подобных работах, при которых открывается доступ к токоведущим частям, находящимся под напряжением, а также при приближении человека к опасной зоне.

Применение малых напряжений ( $\leq 42$  В). Малое напряжение (не более 42В) применяется для ручного инструмента, переносного и местного освещения в любых помещениях и вне их. Оно применяется также в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных для питания светильников местного стационарного освещения, если они расположены на высоте менее 2,5 м. Распространено в применении напряжение 36 В, а в замкнутых металлических емкостях должно применяться напряжение не более 12 В.

Электрическое разделение сетей на участки с помощью разделительных трансформаторов. Электрическое разделение сетей осуществляется через специальный разделительный трансформатор, который отделяет сеть с изолированной или глухозаземленной нейтралью от участка сети, питающего электроприемник. При этом связь между питающей сетью и сетью приемника осуществляется через магнитные поля, участок сети приемника и сам приемник не связываются с землей. Разделительный трансформатор представляет собой специальный трансформатор с коэффициентом трансформации, равном единице, напряжением не более 380 В, с повышенной надежностью конструкции и изоляции. От трансформатора разрешается питание не более одного приемника с током не более 15 А.

Защитное заземление корпусов оборудования. Заземлением называется соединение с землей нетоковедущих металлических частей электрооборудования через металлические детали, закладываемые в землю и называемые заземлителями, и детали, прокладываемые между заземлителями и корпусами электрооборудования, называемые заземляющими проводниками. Проводники и заземлители обычно делаются из низкоуглеродистой стали, называемой в просторечии железом.

Заземление предназначается для устранения опасности поражения человека электрическим током во время прикосновения к нетоковедущим частям, находящимся под

напряжением. Это достигается путем снижения до безопасных пределов напряжения прикосновения и шага за счет малого сопротивления заземлителя. Областью применения защитного заземления являются сети переменного и постоянного тока с изолированной нейтралью источника напряжения или трансформатора.

Для заземления могут быть использованы детали уже существующих сооружений, которые называются естественными заземлителями:

металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей;

металлические трубопроводы, проложенные в земле, за исключением трубопроводов горючих жидкостей и газов;

свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле;

обсадные трубы скважин и т. д.

Защитное отключение сети за время не более 0,2 с при возникновении опасности поражения током. Устройство защитного отключения (УЗО) состоит из чувствительного элемента, реагирующего на изменение контролируемой величины, и исполнительного органа, отключающего соответствующий участок сети.

Чувствительный элемент может реагировать на потенциал корпуса, ток замыкания на землю, напряжение и ток нулевой последовательности, оперативный ток. В качестве выключателей могут применяться контакторы, магнитные пускатели, автоматические выключатели с независимым расцепителем, специальные выключатели для УЗО.

Назначение УЗО — защита от поражения электрическим током путем отключения ЭУ при появлении опасности замыкания на корпус оборудования или непосредственно при касании токоведущих частей человеком.

УЗО применяется в ЭУ напряжением до 1000 В с изолированной или глухозаземленной нейтралью в качестве основного или дополнительного технического способа защиты, если безопасность не может быть обеспечена путем применения заземления или зануления или если заземление или зануление не могут быть выполнены по некоторым причинам.

УЗО обязательно для контроля изоляции и отключения ЭУ при снижении сопротивления изоляции в ЭУ специального назначения, например, в подземных горных выработках (реле утечки).

Примером УЗО является защитно-отключающее устройство типа ЗОУП—25, предназначенное для отключения и включения силовых трехфазных цепей при напряжении 380 В и токе 25 А в системах с глухозаземленной нейтралью, а также для защиты людей при касании токоведущих частей или корпусов оборудования, оказавшихся под напряжением.

Зануление корпусов электрооборудования в сетях с глухозаземленной нейтралью. Зануление — это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным кабелем. Токовой защитой являются: плавкие предохранители или автоматические рубильники (выключатели), установленные перед потребителями энергии для защиты от токов короткого замыкания.

Зануление используется в электрических цепях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью. Занулению подлежат те же металлические конструктивные нетоковедущие части электрооборудования, которые подлежат защитному заземлению (корпуса машин и аппаратов, баки трансформаторов и др.)

Выравнивание потенциалов корпусов электрооборудования. Как известно, напряжение прикосновения или шага получается тогда, когда есть разность потенциалов между основанием, на котором стоит человек, и корпусами оборудования, которых он может коснуться, или между ногами. Если соединить посредством дополнительных электродов и проводников места возможного касания телом человека, то не будет разности потенциалов и связанной с ней опасности.

Выравнивание потенциалов корпусов электрооборудования и связанных с ним конструкций и основания осуществляется устройством контурного заземлителя, электроды которого располагаются вокруг здания или сооружения с заземленным или зануленным оборудованием. Внутри контурного заземлителя под полом помещения или площадки прокладываются горизонтальные продольные и поперечные электроды, соединенные сваркой с электродами контура. При наличии зануления контур присоединяется к нулевому проводу.

Выравнивание потенциалов корпусов оборудования и конструкций осуществляется присоединением конструкций и всех корпусов к сети зануления или заземления.

Выравнивание потенциалов применяется как дополнительный технический способ защиты при наличии зануления или заземления в помещениях с повышенной опасностью или особо опасных.

Применение выравнивания потенциалов обязательно в животноводческих помещениях.

Устройство выравнивания потенциалов осуществляется по проекту.

Применение защитных средств. Защитными средствами называются приборы, аппараты, переносные и перевозимые приспособления и устройства, а также отдельные части устройств, приспособлений и аппаратов, служащие для защиты персонала, работающего на электроустановках, от поражения электрическим током.

По назначению электрозащитные средства подразделяют на:

- изолирующие
- ограждающие
- вспомогательные

Изолирующие средства защиты предназначены для изоляции человека от токоведущих частей электроустановки, находящейся под напряжением, а также от земли (корпуса судна), если человек одновременно касается токоведущих и заземляющих частей электроустановки. По степени надежности их делят на основные и дополнительные.

К основным изолирующим защитным средствам в установках напряжением до 1000В относят:

1. диэлектрические перчатки
2. клещи для смены предохранителей и токоизмерения
3. слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками
4. указатели напряжения

В электроустановках напряжением выше 1000В основными средствами защиты являются:

1. Изолирующие и измерительные штанги
2. Токоизмерительные клещи и указатели напряжения
3. Изолирующие съемные вышки и лестницы

К дополнительным относятся :

1. Диэлектрические галоши
2. Боты
3. Коврики
4. Изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах.

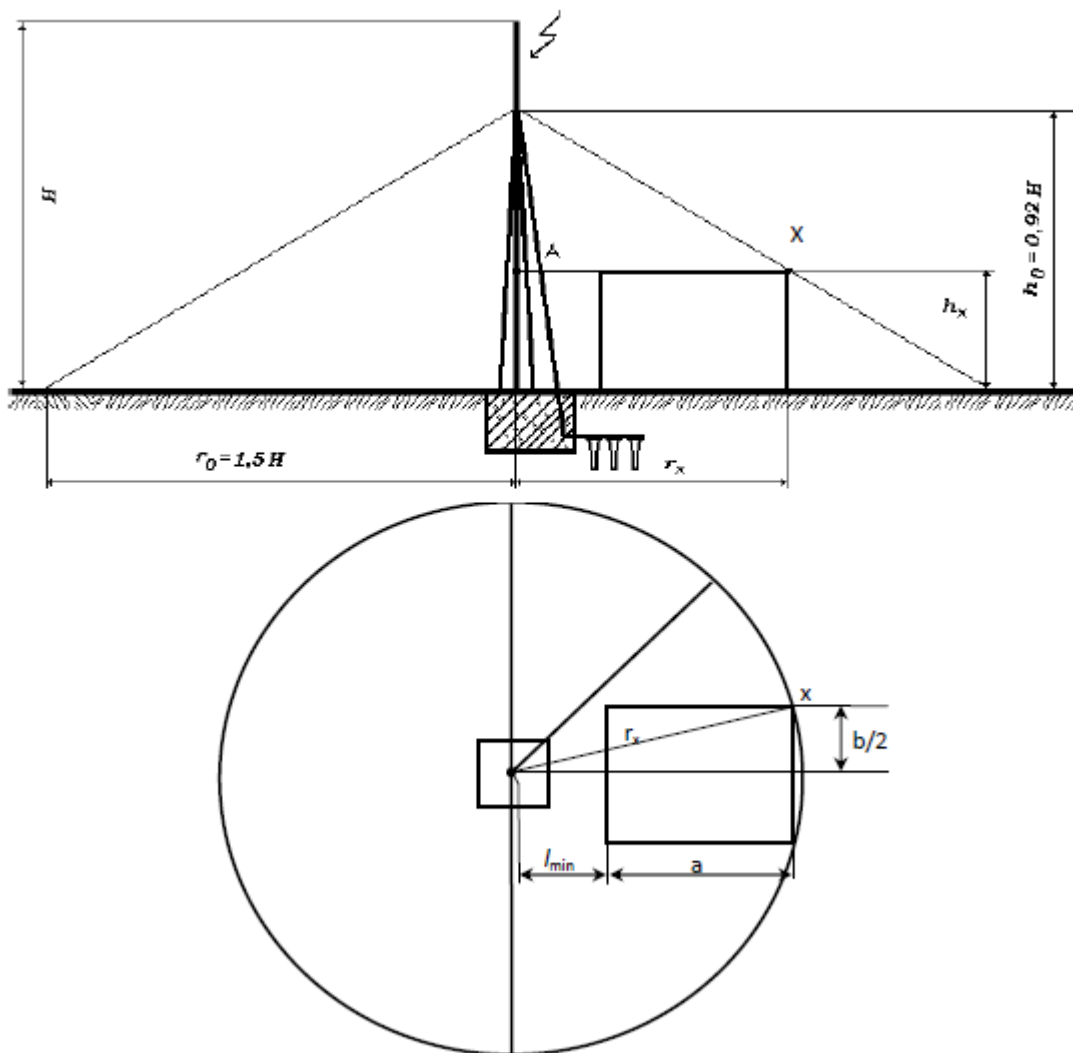
Ограждающие устройства предназначены для временного ограждения токоведущих частей, находящихся под напряжением. К ним относятся щиты, барьеры, ограждения – клетки, а также временные переносные заземления, которые делают невозможным появление напряжения на отключенном оборудовании.

Вспомогательные средства защиты предназначены для защиты персонала от случайного падения с высоты (предохранительные пояса, когти, страхующие канаты), защитные очки, рукавицы, суконные и брезентовые костюмы и др.

**Задание 1. Произвести расчет молниезащиты завода (тяговой подстанции).  
 Определить высоту отдельностоящего молниеотвода для защиты производственного здания**

**Ход выполнения задания**

1. Конструкция стержневого молниеотвода и его зона защиты



2. Величина импульсного сопротивления растеканию тока заземлителя молниеотвода согласно ПУЭ

$$Ru = 10-15 \text{ Ом}$$

3. Максимальный потенциал при ударе молнии на расстоянии  $l$  от земли определяем по формуле

$$U_A = I_M \cdot R_u + L_0 \cdot h_X \cdot \frac{dI_M}{dt} \quad [B]$$

где  $I_M$  – индуктивность тока молнии, кА;

$R_u$  – импульсное сопротивление, Ом;

$L_0$  – индуктивность единицы длины молниеотвода, мкГн/м;

$h_X$  – высота здания, м;

$\frac{dI_M}{dt}$  – крутизна фронта тока молнии, кА/мкс.

4. Минимальное расстояние от молниеотвода до защищаемого объекта

$$l_{\min e} = \frac{U A}{E_{np e}} \text{ [м]}$$

5. Радиус зоны защиты  $r_x$  на уровне верхней границы защищаемого объекта  $h_x$

$$r_x = \sqrt{\left(l_{\min} + a\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}$$

где  $a$  - длина здания, м;

$b$  – ширина здания, м.

6. Высоту стержневого молниеотвода  $H$  в зависимости от радиуса защиты и высоты объекта определяем по формуле

$$H = \frac{r_x}{1,5} + \frac{h_x}{0,92}$$

7. Минимальное расстояние от заземлителя молниеотвода до подземных проводящих коммуникаций

$$l_{\min 3} = \frac{U A}{E_{np 3}}$$

где  $E_{np3}$ - расчетная импульсная прочность грунта, кВ/м.

8. Сопротивление вертикальных заземлителей определяем по формуле

$$R = \frac{R_u}{\alpha_u}$$

где  $\alpha_u$  - импульсный коэффициент заземления, зависящий от тока молнии, удельного сопротивления грунта и конструкции заземлителя.

Импульсный коэффициент при разных значениях удельных сопротивлений грунта представлен в таблице.

$\rho$ , Ом·м	До 100	100	500	1000	2000
$\alpha_u$	0,9/0,9	0,7/0,9	0,5 /0,7	0,3 /0,5	- /0,35

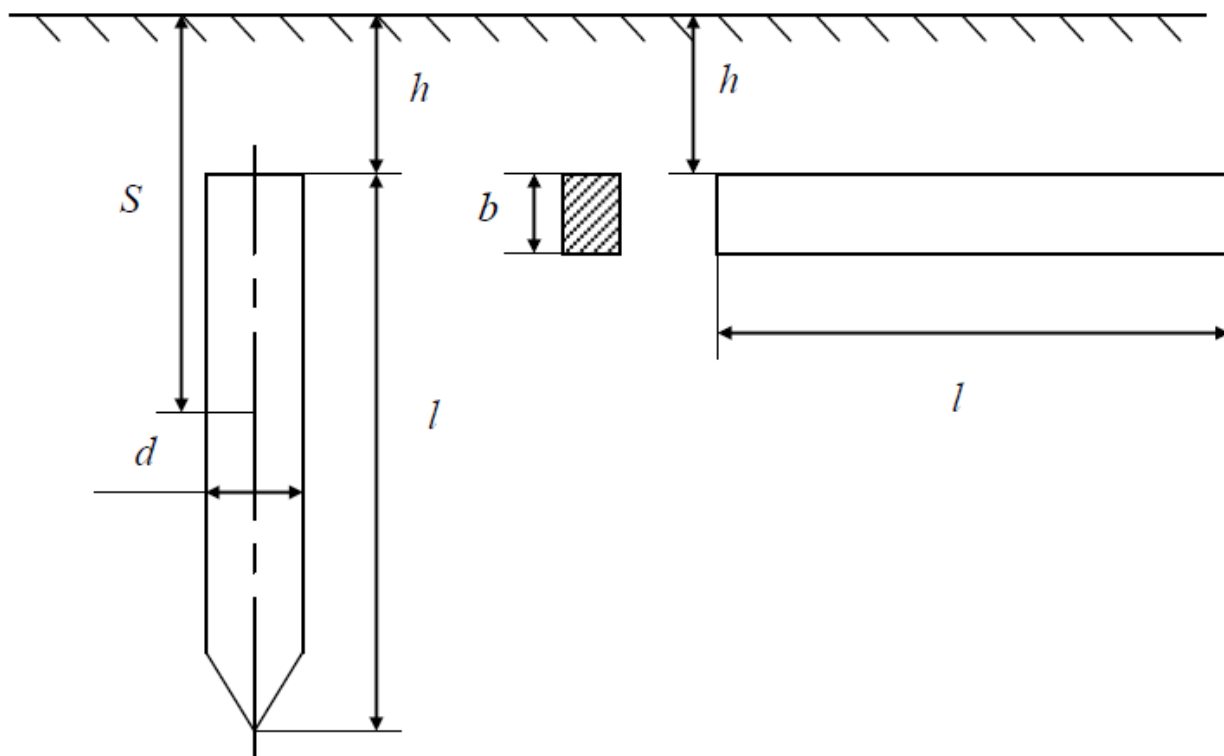
Цифры в числителе относятся к комбинированным заземлителям, в знаменателе - к вертикальным.

Согласно ПУЭ  $R \leq R_u$ .

**Задание 2. Рассчитать искусственное заземляющее устройство электрооборудования**

**Ход выполнения задания**

Расчетная схема



1. По ПУЭ определяем  $R_{доп}$

Допустимые значения сопротивления заземляющих устройств согласно “Правил устройства электроустановок” следующие:

- Для установок до 1000 В

$R_3 = 4 \text{ Ом}$  - если суммарная мощность источников тока, питающих сеть более 100 кВт.

$R_3 = 10 \text{ Ом}$  - во всех остальных случаях.

- Для установок выше 1000 В

$R_3 = (250/I_3) \leq 10 \text{ Ом}$  - в сетях с номинальным напряжением 6, 35 кВ с изолированной нейтралью при малых токах заземления (менее 500 А) при условии использования заземляющих устройств только для электроустановок напряжением выше 1000 В.

$R_3 = (125/I_3) \leq 10 \text{ Ом}$  - тоже в сетях с номинальным напряжением 6, 35 кВ с изолированной нейтралью и малыми токами заземления, но с использованием заземляющих устройств одновременно и для электроустановок напряжением до 1000 В.

$R_3 = 0,5 \text{ Ом}$  - в сетях напряжением 110 кВ и выше с эффективно заземлённой нейтралью при больших токах замыкания (более 500 А).

2. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта  $\rho_{рас}$

$$\rho_{рас} = K_{II} \cdot \rho_{уд} \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}]$$

где  $K_{II}$  – сезонный коэффициент

3. Рассчитываем сопротивление вертикального электрода  $R_B$

$$R_B = \frac{\rho_{рас}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4S+l}{4S-l} \right) [\text{Ом}]$$



где  $S$  - расстояние от поверхности грунта до середины вертикального электрода

$$S = \frac{l}{2} + h \quad [м]$$

4. Рассчитываем требуемое количество вертикальных электродов

$$n = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_B} \quad [штук]$$

где  $\eta_B$  - коэффициент использования вертикальных электродов.

Для предварительного расчета количества электродов принимаем  $\eta_B = 1$ . По найденному количеству электродов по таблице 1 определяем  $\eta_B$  в зависимости от  $n$  и отношения расстояний между электродами к их длине при размещении электродов либо по контуру, либо в ряд. Уточняем количество электродов.

Таблица 1 - Коэффициенты использования  $\eta_B$  заземлителей из труб или уголков без учёта влияния полосы связи

Отношение расстояния между трубами (уголками к их длине)	При размещении в ряд		При размещении по контуру	
	Число труб (уголков)	$\eta_B$	Число труб (уголков)	$\eta_B$
1	2	0,84-0,87	4	0,66-0,72
	3	0,76-0,8	6	0,58-0,65
	5	0,67-0,72	10	0,52-0,58
	10	0,56-0,62	20	0,44-0,5
	15	0,51-0,56	40	0,38-0,44
	20	0,47-0,5	60	0,36-0,42
2	2	0,9-0,92	4	0,76-0,8
	3	0,85-0,88	6	0,71-0,75
	5	0,79-0,83	10	0,66-0,71
	10	0,72-0,77	20	0,61-0,66
	15	0,66-0,73	40	0,55-0,61
	20	0,65-0,7	60	0,52-0,58
3	2	0,93-0,95	4	0,84-0,86
	3	0,9-0,92	6	0,78-0,82
	5	0,85-0,88	10	0,74-0,73
	10	0,79-0,83	20	0,68-0,73
	15	0,76-0,8	40	0,64-0,69
	20	0,74-0,79	60	0,62-0,67

5. Находим длину соединительной стальной полосы  $L$ :

- если электроды расположены в ряд

$$L = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1) \quad [м]$$

- если электроды расположены по контуру

$$L = 1,05 \cdot a \cdot n \quad [м]$$

где  $a$  – расстояние между вертикальными электродами.

6. Определяем сопротивление полосы  $R_{II}$ , соединяющей вертикальные электроды

$$R_{II} = \frac{\rho_{рас}}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{bh} \quad [Ом]$$

7. Рассчитываем общее сопротивление заземляющего устройства

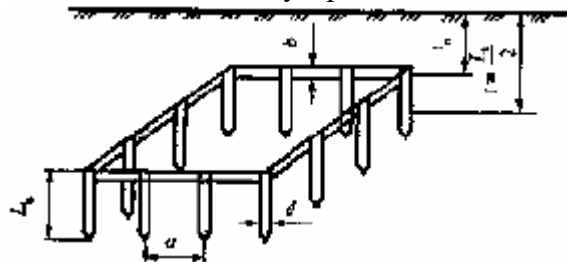
$$R = \frac{R_B \cdot R_{II}}{n \cdot R_{II} \cdot \eta_B + R_B \cdot \eta_{II}} \quad [Ом]$$

где  $\eta_{II}$  – коэффициент использования горизонтального полосового электрода (таблица 2).

Таблица 2 - Коэффициент использования  $\eta_{II}$  соединительной полосы заземлителей из труб или уголков

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число труб или уголков					
	4	8	10	20	30	50
<b>При расположении полосы в ряду труб или уголков</b>						
1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21
2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36
3	0,92	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49
<b>При расположении полосы по контуру труб или уголков</b>						
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28
3	0,7	0,80	0,56	0,45	0,41	0,37

8. Схема заземляющего устройства.



9. Сделать вывод

## Практическая работа № 8 Расчет границ лазерно опасной зоны

### Теоретическая часть

Лазерное излучение – это вынужденное (посредством лазера) испускание атомами вещества порций-квантов электромагнитного излучения. Само слово «лазер» происходит от английского laser – аббревиатура словосочетания «усиление света с помощью

вынужденного излучения». Следовательно, лазер (оптический квантовый генератор) это генератор электромагнитного излучения оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного (стимулированного) излучения.

Лазерная установка включает активную (лазерную) среду с оптическим резонатором, источник энергии ее возбуждения и, как правило, систему охлаждения.

Лазерные установки используются при обработке металлов (резание, сверление, поверхностная закалка и др.), в хирургии, для целей локации, навигации, связи и т.д. Наибольшее распространение в промышленности получили лазеры, генерирующие электромагнитные излучения с /ушной волны 0,33; 0,49; 0,63; 0,69; 1,06; 10,6 мкм (микромметр).

Лазерное излучение характеризуют основные физические величины:

- длина волны, мкм;
- энергетическая освещенность (плотность мощности), Вт/см<sup>2</sup>, – отношение потока излучения, падающего на рассматриваемый небольшой участок поверхности, к площади этого участка;
- энергетическая экспозиция, Дж/см<sup>2</sup>, – отношение энергии излучения, определяемой на рассматриваемом участке поверхности, к площади этого участка;
- длительность импульса, с;
- длительность воздействия, с, – срок воздействия лазерного излучения на человека в течение рабочей смены;
- частота повторения импульсов, Гц, – количество импульсов за 1 с.

Лазеры классифицированы по четырем классам опасности. Наиболее опасны лазеры четвертого класса.

При работе с лазерными установками на работника оказывает воздействие прямое (непосредственно от лазера), рассеянное и отраженное лазерное излучение. Степень неблагоприятного воздействия зависит от параметров лазерного излучения, которое может привести к поражению глаз (сетчатки, роговицы, радужки, хрусталика), ожогам кожи, астеническим и вегетативно-сосудистым расстройствам.

Защита работников от лазерного излучения

Основными нормативными документами в области лазерной безопасности, к которым относятся СанПиН 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров», ГОСТ 12.1.040-83 «ССБТ. Лазерная безопасность. Общие требования», ГОСТ 12.1.031-81 «ССБТ. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения», установлены методы и средства защиты от поражения лазерным излучением.

Защита работников от лазерного излучения осуществляется организационно-техническими, санитарно-гигиеническими и лечебно-профилактическими методами и средствами.

Таблица 1 Средства защиты от лазерного излучения

Средства защиты	Класс опасности лазера				Примечание
	1	2	3	4	
Оградительные устройства (кожухи, экраны и т.д.)	—	— (+)	+	+	Должны снижать уровни опасных и вредных производственных факторов до безопасных значений
Дистанционное управление	—	—	+	+	Применяется во всех возможных случаях
Устройства сигнализации	— —	— —	+	+	Для лазеров видимого диапазона спектра

	—	(+) —	—	+	Для лазеров УФ диапазона спектра Для лазеров ИК диапазона спектра
Маркировка знаком лазерной опасности	—	+	+	+	Лазеры, зона прохождения луча, граница ЛОЗ
Кодовый замок	—	—	+	+	На дверях помещений, пульте управления
Защитные очки, снижающие уровень диффузного излучения на роговице глаза до ПДУ	— —	+ —	+ +	+ +	При времени воздействия больше 0, 2, 5 с Всегда, когда средства коллективной защиты не обеспечивают безопасных условий труда
Защитная одежда	—	—	—	+	При соответствующей опасности
Юстировочные очки, снижающие уровень коллимированного излучения на роговице до ПДУ	—	+	+	+	Ограничено при выполнении юстировки, наладки и ремонтно-профилактических работах

ЛОЗ (лазерно-опасная зона) – часть пространства, в пределах которого уровень лазерного излучения превышает предельно допустимый уровень. Юстировка лазера – это совокупность операций по регулировке оптических элементов лазерного изделия для получения требуемых пространственно-энергетических характеристик лазерного излучения.

К организационно-техническим методам защиты работников от лазерного излучения относятся:

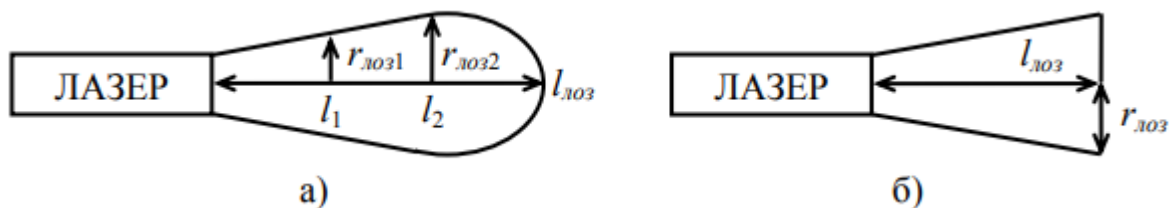
- выбор, планировка и внутренняя отделка помещений;
- рациональное размещение лазерных установок и порядок их обслуживания;
- организация рабочего места;
- применение средств защиты (ограждения, защитные экраны, блокировки, автоматические затворы, кожухи, защитные очки, щитки, маски и другие средства коллективной и индивидуальной защиты);
  - ограничение времени воздействия излучения;
  - назначение и инструктаж лиц, ответственных за организацию и проведение работ на лазерных установках;
  - ограничение допуска к проведению работ;
  - организация надзора за режимом работ;
  - обучение обслуживающего персонала безопасным методам и приемам выполнения работ с лазерными установками;
    - четкая организация противоаварийных работ и регламентация порядка ведения работ в аварийных ситуациях;
    - установка зоны лазерной безопасности.

Санитарно-гигиеническими и лечебно-профилактическими методами и средствами защиты работников от лазерного излучения являются:

- контроль за уровнями вредных и опасных факторов на рабочих местах (периодический дозиметрический контроль лазерного излучения);
- контроль за прохождением персоналом предварительных и периодических медицинских осмотров.

### Задание 1 Расчет границ ЛОЗ

Границы лазерно опасной зоны Лазерно опасная зона (ЛОЗ) это часть пространства, в пределах которого уровень лазерного излучения превышает предельно допустимый. Значение уровней лазерного облучения и положение границ ЛОЗ можно установить измерением уровней излучения в пространстве, окружающем лазерную установку, или расчётным путем. Предварительный расчёт также полезен при экспериментальном определении границ ЛОЗ, что позволяет уменьшить количество измерений. ЛОЗ могут создаваться прямым, отражённым (зеркально или диффузно) излучением от различных поверхностей и материалов, а также излучением, рассеянным в атмосфере. Схематичный вид границ ЛОЗ для гауссова и равномерного пучков показан на рис. 2.



- а) гауссов пучок;  
 б) пучок с равномерным распределением интенсивности

Рис. 1 Характер лазерно опасной зоны:

Энергетическая освещенность при облучении гауссовым пучком определяется по формуле. С учётом ослабление в атмосфере и параметры оптической системы прибора наблюдения формула для расчёта энергетической освещенности приобретёт следующий вид:

$$E = - \frac{2P\tau_a\tau_{np}\Gamma_{np}^2}{\pi r^2} \exp\left(-\frac{2h^2}{r^2}\right),$$

где  $\tau_a$  – коэффициент пропускания атмосферы;  $\tau_{np}$  – коэффициент пропускания телескопической системы прибора наблюдения;  $\Gamma_{np}$  – увеличение этой системы. Для невооруженного глаза ;  $\tau_{np} = 1$  и  $\Gamma_{np} = 1$ .

Границы ЛОЗ определяются из условия:  $E = E_{пду}$  . С учетом этого условия из выражения определяется радиус лазерно опасной зоны  $r_{лоз}$  по следующей формуле:

$$r_{лоз} = \frac{r}{\sqrt{2}} \sqrt{\ln \frac{2P\tau_a\tau_{np}\Gamma_{np}^2}{\pi r^2 E_{пду}}}$$

Можно сказать, что  $r_{лоз}$  это расстояние от оси пучка, на котором создастся энергетическая освещенность, равная предельно допустимому уровню. Радиус сечения пучка  $r$  определяется по следующим формулам

Из условия обращения в нуль подкоренного выражения в уравнении определяется  $l_{лоз}$  – длина лазерно опасной зоны, м:

$$E_{max} = \frac{2P\tau_a\tau_{np}\Gamma_{np}^2}{\pi r^2} = E_{пду}$$

Тогда из выражения снова можно определить радиус сечения пучка  $r$  на расстоянии от лазера, равном  $l_{лоз}$  :

$$r = \sqrt{\frac{2P\tau_a \tau_{np} \Gamma_{np}^2}{\pi E_{нды}}}$$

Теперь появляется возможность определить параметр  $l_{лоз}$  путём приравнивания выражений. При этих расчётах необходимо знать величины  $\tau_a$ ,  $\tau_{np}$ ,  $\Gamma_{np}$ .

При расчётах уровней облучения и ЛОЗ равномерным пучком можно пользоваться следующими упрощёнными формулами. Радиус сечения пучка на расстоянии  $l$  от лазера определяется по формуле. Энергетическая освещённость, создаваемая таким пучком, будет определяться как:

$$E = \frac{P\tau_a \tau_{np} \Gamma_{np}^2}{\pi r^2}$$

Расстояние, на котором выполняется условие  $E = E_{нды}$ , соответствует длине лазерно опасной зоны  $l_{лоз}$ . Непосредственный расчёт  $l_{лоз}$  (при известном значении  $\tau_a$ ,  $\tau_{np}$ ,  $\Gamma_{np}$ ) осуществляется по формуле

$$l_{лоз} = \frac{2}{\theta} \left( \sqrt{\frac{P\tau_a \tau_{np} \Gamma_{np}^2}{\pi E_{нды}}} - r \right),$$

а наибольший радиус лазерно опасной зоны вычисляется как:

$$r_{лоз} = r_0 + \sqrt{\frac{P\tau_a \tau_{np} \Gamma_{np}^2}{\pi E_{нды}}}$$

где  $r_0$  – начальный радиус пучка (на выходе из лазера, на оптическом элементе), м.

Определение границ ЛОЗ, создаваемой отражённым (преобразованным в оптической системе) пучком, производится так же, как и для прямого облучения, но за исходные данные принимаются параметры пучка, преобразованного оптической системой.

Совсем по-другому происходит преобразование пучка при диффузном отражении, которое часто встречается на практике. Диффузно отражающая поверхность является отражающей по закону Ламберта (идеально диффузной) в том случае, если излучение отражается во все стороны равномерно, то есть яркость отражённого излучения не зависит ни от угла падения исходного пучка, ни от угла, под которым производится наблюдение. В большинстве случаев при расчётах считают диффузно отражающую поверхность идеально матовой. Обычно это даёт завышенные результаты при расчёте уровней облучения, что оправдано с точки зрения безопасности.

При расстояниях  $l_2$  от отражающей поверхности до глаза (кожи), намного превышающих размер светового пятна на отражающей поверхности, энергетическая освещённость роговицы глаза (кожи) не зависит от характера распределения интенсивности по сечению лазерного пучка:

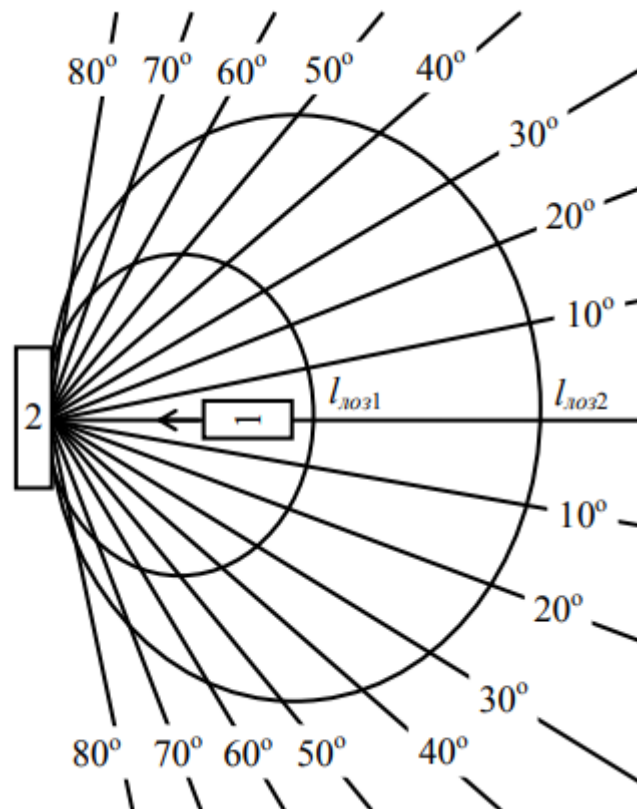
$$E = \frac{P\eta\varepsilon\tau_{a1}\tau_{a2}}{\pi l_2^2} \cos \Omega$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент энергетической яркости (отношение энергетической яркости облученной поверхности к энергетической яркости идеально матовой поверхности);  $\Omega$  – угол наблюдения, рад. Далее будет приниматься  $\varepsilon = 1$ .

ЛОЗ, создаваемые диффузно отражённым излучением, определяются так: задается ряд направлений от светового пятна на отражающей поверхности, и для каждого направления задается ряд расстояний от поверхности; для каждого расстояния рассчитывается уровень облучения. С учётом коэффициентов пропускания атмосферы  $\tau_{a1}$  и  $\tau_{a2}$  расстояние  $l_{\text{лоз}}$ , на котором уровень облучения равен ПДУ для каждого направления определяется согласно формуле:

$$l_{\text{лоз}} = \sqrt{\frac{P \eta \epsilon \tau_{a1} \tau_{a2}}{\pi E_{\text{пду}}} \cos \Omega}.$$

Характер лазерно опасной зоны при диффузном отражении лазерного излучения от экрана показан на рис. 2.



Здесь: 1 – лазер, 2 – рассеивающая мишень,  $l_{\text{лоз1}}$  – граница зоны опасной для кожи,  $l_{\text{лоз2}}$  – граница зоны опасной для глаз

Рис.2. Схема лазерно опасной зоны при диффузном отражении.