

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

КУРС ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

Расчет и проектирование систем безопасности труда

Составитель:
Баландина Е.А.

Владимир, 2016

1. УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Технологические процессы в химической промышленности весьма отличны один от другого, поэтому различны и условия обеспечения безопасных и здоровых условий труда. Вместе с тем имеются общие требования, позволяющие обеспечить безопасность и гигиеничность производственных процессов.

1.1. Многостадийные и одностадийные процессы

Многие технологические процессы состоят из ряда последовательно размещенных в пространстве и времени производственных стадий, через которые проходят применяемые в процессе вещества. Одним из важных направлений технического прогресса в химической промышленности является сокращение числа стадий и переход к одностадийным процессам.

Одностадийные технологические процессы помимо увеличения эффективности производства позволяют оздоровить условия труда, улучшить управление процессом, облегчить переход от периодических к непрерывным схемам производства. С уменьшением числа аппаратов, трубопроводов и емкостей увеличивается общий уровень герметизации производства. Практика показывает, что нередко одностадийность дает возможность устранить из технологического процесса агрессивные или токсичные вещества.

Так, применяемый ранее многостадийный технологический процесс получения оксида этилена включал в себя водное хлорирование этилена с последующей обработкой промежуточного продукта щелочью, причем в качестве побочного продукта получалась соляная кислота. Замена этого способа одностадийным способом прямого окисления этилена кислородом воздуха позволила устранить из процесса агрессивные вещества (щелочи, кислоты) и вредный хлор.

1.2. Механизация трудоемких, опасных и вредных работ

Механизация технологических процессов, особенно трудоемких, опасных или вредных, позволяет освободить рабочего от тяжелых или монотонных операций, устранить контакт с ядовитыми веществами, вывести исполнителя из пожаро- и взрывоопасной зоны. Поэтому при разработке необходимо обеспечивать максимально возможную степень механизации и автоматизации технологических процессов.

В химической промышленности наибольшее число ручных операций приходится на погрузочно-разгрузочные и транспортные работы. Имеются возможности для дальнейшей их механизации, тем более что техническое оснащение таких операций известно и давно используется на практике. В химической промышленности уменьшение ручных операций наиболее вероятно в процессах с твердыми и сыпучими веществами. Это подача в аппараты и машины, выгрузка готовых продуктов, удаление отходов, на внутриводном и цеховом транспорте, при очистке аппаратов, емкостей и трубопроводов, затаривании, складировании, а также на операциях по отбору проб и замеру продуктов в емкостях.

1.3. Замена токсичных веществ менее вредными и опасными

В Российской Федерации последовательно осуществляется замена токсичных веществ безвредными или менее токсичными. В 20-х гг. прошлого столетия в производстве фетра ртуть была заменена щелочами, затем, свинцовые белила – цинковыми. Осуществляется замена ртутных приборов безртутными: ртутные дифманометры заменяют мембранными, ртутные вакуумные насосы – масляными; ограничивается применение ртути и в технологических процессах. Устранение из анилинокрасочной промышленности бета-нафтиламина позволило резко снизить опасность профессиональных заболеваний.

Вредное воздействие токсичных веществ предупреждается также проведением так называемой гигиенической стандартизации сырья и готовой продукции, при которой нормируется содержание вредных веществ в сырье и готовых продуктах. Например, топливный газ, подаваемый в города и на предприятия, согласно ГОСТ 5542–50, не должен содержать свыше определенных количеств сероводорода, аммиака, цианистых соединений, смолы, пыли. Ограничивается также содержание мышьяка в серной кислоте; ароматических углеводородов в бензинах; альдегидов, метанола и фурфуrolа в гидролизном этиловом спирте и т. п.

1.4. Непрерывность технологического процесса

В непрерывных процессах отпадает необходимость периодической (часто ручной) загрузки сырья и выгрузки готовых продуктов, следовательно, устраняются контакт с ними работающих и выделение газов и паров в атмосферу. Непрерывный процесс характеризуется равномерностью, устойчивостью и постоянством, что исключает необходимость постоянного регулирования технологических параметров. Это уменьшает возможность ошибок со стороны обслуживающего персонала.

Стабильность непрерывного процесса уменьшает опасность образования застойных зон, местных перегревов, превышений концентраций, возникновения побочных реакций и других нарушений технологического процесса. В непрерывном процессе при одной и той же производительности общий объем аппаратуры значительно меньше, чем в периодическом. Это позволяет легче обеспечивать герметичность оборудования и свидетельствует о целесообразности стимулирования перехода от периодических процессов к непрерывным.

1.5. Устойчивость технологического процесса

Основным условием безопасности технологического процесса является его устойчивость, т. е. способность при случайном воздействии на процесс какого-то возмущения самопроизвольно возвращаться в первоначальное состояние. Если система неустойчива, то это может вызвать аварийные ситуации. Например, при случайном повышении температуры и недостаточном отводе тепла возможно мгновенное нарастание скорости реакции вплоть до взрыва. В ряде случаев даже местные временные незначительные изменения условий протекания процесса могут вынести реакцию систему из установленного режима и процесс станет неуправляемым. Поэтому еще при проектировании технологического процесса проверяют те его параметры, отклонения от которых могут создавать аварийные ситуации, находят границы, в которых они проявляются, и определяют способы их предотвращения.

Весьма важным для устойчивости технологического процесса является постоянство состава поступающих в процесс сырья и полупродуктов и содержание в них посторонних примесей. Технологическим регламентом определяются качественные показатели продуктов, применяемых в производстве с таким расчетом, чтобы обеспечить стабильность и безопасность технологического процесса.

1.6. Предотвращение образования взрывоопасных концентраций

Многие продукты органического синтеза получают окислением паров органических веществ кислородом (воздухом, техническим кислородом, смесью кислорода с азотом), азотной кислотой (оксидами азота) и другими веществами. К таким процессам относятся, например, окисление метанола в формальдегид, нафталина во фталевый ангидрид, этилена в оксид этилена, аммиака в оксид азота и т. п. В таких случаях неизбежно образование смесей взрывоопасных веществ с кислородом, поэтому технологический процесс разрабатывают так, чтобы концентра-

ции этих смесей были ниже нижнего или выше верхнего концентрационных пределов воспламенения.

Когда вывод состава смеси горючего с окислителем за концентрационные пределы воспламенения нецелесообразен или невозможен по технологическим причинам и процесс должен осуществляться внутри области воспламенения, применяют флегматизацию, т. е. вводят компоненты, разбавляющие смесь до приобретения ею негорючих свойств. Эти компоненты (флегматизаторы) могут быть двух видов: инертные компоненты и ингибиторы горения.

Инертные компоненты – диоксид углерода, азот, пары воды разбавляют взрывоопасную среду, уменьшая содержание кислорода и, при определенной концентрации, могут сделать эту среду негорючей. Так, горение большинства веществ становится невозможным при снижении содержания кислорода в смеси до 12–16 %; для некоторых веществ, обладающих широкой областью воспламенения, предельное содержание кислорода должно быть более низким. Например, для ацетилена, оно составляет 9,0 % при применении CO_2 и 6,5 % при применении N_2 ; для водорода соответственно 7,0 и 5,0 %. Чем больше теплоемкость инертного газа, тем больше его флегматизирующее действие.

Ингибиторы горения – являются отрицательными катализаторами, тормозящими реакцию горения. К ним относятся главным образом различные галогенпроизводные (CH_3Br , CH_2ClBr , CCl_4 и др.). Механизм их воздействия на процесс горения заключается в обрыве реакционных цепей при окислении горючего. Обычно достаточно небольшого количества флегматизатора, чтобы его действие было противозрывным. Флегматизаторы, если они не влияют на ход технологического процесса, можно вводить в реакционную зону заблаговременно.

1.7. Применение вакуума

Известно, что при понижении давления область воспламенения сужается, при определенном вакууме в ряде случаев взрыв вообще может быть исключен. Кроме того, при работе аппарата под вакуумом прекращается выделение в окружающую среду газов, паров, пыли, что уменьшает опасность взрывов и отравлений.

Многие технологические процессы при понижении давления можно вести при более низких температурах, поэтому уменьшается возможность термического разложения продуктов, их перегрев, а также предотвращаются нежелательные побочные реакции, создающие дополнительную опасность взрыва. Однако при применении вакуума возможен подсос наружного воздуха в аппаратуру и образование в ней горючих сред. Эта опасность усугубляется тем, что проникновение в ап-

парат наружного воздуха незаметно для обслуживающего персонала без специальных измерительных устройств (вакуумметров). Поэтому при работе с вакуумом необходим постоянный надзор за герметичностью аппаратуры.

Помимо регламентированных испытаний на герметичность требуется систематический контроль отсасываемых из вакуум-аппаратов газов на содержание кислорода при помощи автоматических сигнализирующих газоанализаторов. При обнаружении кислорода воздуха сверх допустимых концентраций вакуум гасят инертным газом, ввод которого в вакуум-аппарат, работающий с взрывоопасными газами, обязателен.

1.8. Инертные газы

Помимо использования в качестве флегматизаторов инертные газы широко применяют в химической технологии для предупреждения взрывов и пожаров. Можно утверждать, что современное взрывоопасное производство не может нормально функционировать без использования инертных газов. Инертные газы применяют в химических производствах в следующих случаях:

- для продувки аппаратов и коммуникаций в процессе подготовки их к ремонту и чистке, а также перед пуском системы после остановки, вскрытия, нарушения герметизации;

- при передавливании сжиженных газов и легковоспламеняющихся жидкостей;

- для заполнения свободного пространства в емкости для хранения жидкостей, которые могут опасно контактировать с воздухом (так называемое хранение «под воздушной подушкой» или «инертное дыхание»);

- при проведении огневых работ на резервуарах с остатками легковоспламеняющихся и горючих продуктов;

- в устройствах, где происходит сухой размол, рассев, грохочение горючих веществ;

- в качестве транспортирующего агента при пневматическом транспорте взрывоопасных веществ;

- при испытаниях оборудования на герметичность;

- для защиты от проявлений статического электричества;

- в целях пожаротушения.

Следует отметить, что работа внутри аппаратов и емкостей, продутых инертным газом, разрешается только после его удаления и замены воздухом с содержанием кислорода не менее 18 %, иначе работающие могут пострадать от недостатка кислорода.

1.9. Система сбрасывания и ликвидации взрывоопасных и токсичных газов

При проведении многих технологических процессов приходится удалять из аппаратуры, а также сбрасывать через предохранительные клапаны газы, часто взрывоопасные и токсичные. Удаляемые из технологического процесса газы либо выбрасываются в атмосферу через воздушники (выхлопные стояки), либо направляются в факельную систему для сжигания. Через воздушники удаляют небольшие количества газов, которые не могут вызвать значительного загрязнения атмосферы.

Воздушники для выброса газов в атмосферу должны иметь высоту не менее 30 м и снабжаться огнепреградителями, защищенными от замерзания. Размещение воздушников по отношению к местам забора воздуха для вентиляционных систем, дверным и оконным проемам, автодорогам и другим устройствам регламентировано.

Факельная система предназначена для сжигания: относительно больших количеств сбрасываемых горючих газов и паров; аварийных сбросов от предохранительных клапанов или других устройств, установленных на аппаратах и резервуарах; сбросов продуктов из отдельных аппаратов или системы аппаратов перед их пропаркой, продувкой, ремонтом и т. д.

Не разрешается направлять в общую факельную систему продукты, склонные к разложению с выделением тепла, окислители, воздух и инертный газ, полимеризующиеся продукты и продукты, способные вступать в реакцию с другими веществами, которые могут направляться в факельную систему; газы продувки, если содержание в них горючего газа превышает 50 % его нижнего предела воспламенения.

В состав факельной системы входят газопроводы от технологического оборудования до общего коллектора, общий коллектор факельной системы, установки сбора факельных сбросов (газгольдеры, отбойники конденсата), компрессоры, насосы, арматура, приборы контроля и автоматизации, факельные трубы.

На рис. 1.1 показана принципиальная схема факельного хозяйства завода органического синтеза. Газы, сбрасываемые через предохранительные клапаны 1, а также из продувочных линий 2 и технологических установок 3, поступают в магистральный газопровод I, в который сбрасываются газы и из других цехов и установок. В сепараторе 4, включенном в магистральный газопровод, газ освобождается, от конденсата, направляемого на переработку по линии III.

Газ поступает в газгольдеры 5; при их переполнении автоматически действующей системой включаются в работу компрессоры 10, откачивающие газ в топливную сеть II.

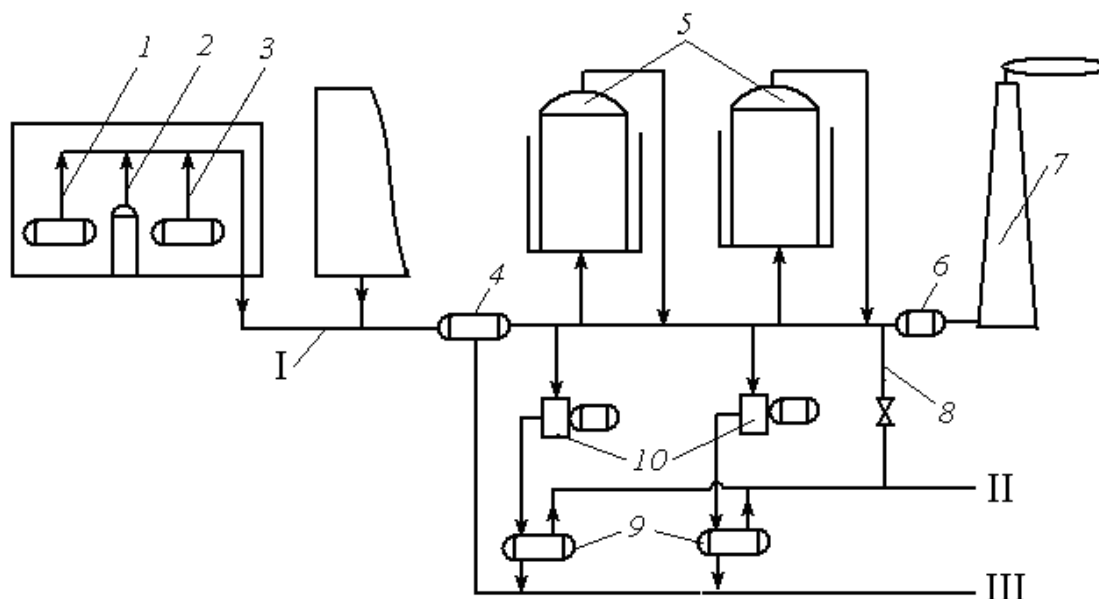


Рис. 1.1. Схема факельного хозяйства завода органического синтеза:

I – магистральный газопровод; II – газ в топливную сеть; III – линия конденсата;
 1 – сброс предохранительного клапана; 2 – сброс газа при продувке аппарата; 3 – сброс газа из технологических установок; 4 – сепаратор для отделения конденсата; 5 – газгольдеры; 6 – огнепреградитель; 7 – факельная труба; 8 – трубопровод для подачи газа на факел; 9 – сепараторы; 10 – компрессор

Если компрессоры оказываются не в состоянии откачать избыток газа, то этот газ направляется на факел для сжигания. Часть топливного газа постоянно подается на факел для сжигания, чтобы предотвратить срыв пламени факела или подсос воздуха в систему и образование внутри нее взрывоопасной среды.

Чтобы обеспечить непрерывное горение факела, рядом с ним предусматривают постоянно горящий «маяк», зажигающий факел. Применяют также электрозапал, приводимый в действие включением электрического тока. Для бездымного сжигания газа применяют водяной пар, подаваемый в верхнюю часть факельного ствола.

Таким образом, при устройстве факельной системы сбрасываемые газы сохраняются для производства и только их относительно небольшое количество сжигается на факеле. При этом окружающая атмосфера не загазовывается.

1.10. Использование сжиженных газов

Сжиженные газы (пропан, бутан, этилен и др.) по ряду причин опасны в эксплуатации. Они тяжелее воздуха и могут скапливаться в низких местах территории. Их нижний концентрационный предел воспламенения очень низок [от 1,6 до 3,0 % (об.)], а минимальная энергия воспламенения мала, поэтому они очень взрывоопасны. Сжиженные

углеводородные газы имеют высокий коэффициент объемного расширения, поэтому сосуды с ними должны заполняться не полностью, а так, чтобы оставался свободный объем для газовой фазы.

При срабатывании сжиженные газы вследствие дросселирования испаряются с резким снижением температуры (температура пропана снижается до $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$), при таком охлаждении металл оборудования становится хрупким. Поэтому необходимо осторожно обращаться с арматурой, не допускать значительных усилий и ударов при ее использовании.

При попадании жидкой фазы на открытые части тела происходят сильные обморожения, похожие на ожоги, поэтому необходимо применять защитную спецодежду: кожаные или резиновые рукавицы, прорезиненный фартук, очки.

1.11. Вынос оборудования на открытые площадки

Одним из важных принципов при проектировании производств химической промышленности является вынос оборудования на открытые площадки и продуваемые этажерки. При размещении оборудования вне помещения вероятность образования взрывоопасных концентраций значительно уменьшается. Уменьшается воздействие тепловыделений на обслуживающий персонал, исключается необходимость устройства дорогостоящей вентиляции, снижается опасность отравлений токсичными веществами. Улучшаются условия монтажных работ, создается возможность применения мощных кранов, мачт и других подъемных устройств и внедрения индустриальных методов строительства технологических установок.

Колонны и другое громоздкое технологическое оборудование предварительно комплектуют обвязочными трубопроводами с арматурой, на них наносят теплоизоляцию, оснащают лестницами и обслуживающими площадками и после этого ставят на фундаменты. В результате почти полностью исключаются монтажные работы на высоте. Однако вынос оборудования на открытые площадки предъявляет к проектировщикам и обслуживающему персоналу дополнительные требования.

Зимой основную опасность представляет замерзание импульсных линий от замерных устройств, датчиков контрольно-измерительных приборов, систем автоматического управления и т. п. Чтобы предотвратить замерзание, утепляют импульсные линии, первичные приборы и обслуживающие их линии обвязки приближают к корпусам аппаратов, покрывают изоляцией, а в отдельных случаях обогревают спутниками.

Продуктопроводы в зависимости от их назначения и расположения обеспечивают изоляцией или спутниками, водяные линии снабжают

штуцерами для быстрого спуска жидкости при остановке или угрозе замерзания. Трубопроводная арматура должна быть только стальной.

Летом, особенно в местностях с жарким климатом, оборудование большого объема приходится защищать от солнечной радиации и атмосферной коррозии специальной окраской. Лучшей отражающей окраской является алюминиевая: температура нагрева поверхности сосуда с алюминиевой окраской в 2,5 раза меньше, чем сосуда черного цвета. Применяют также антикоррозионные покрытия различного назначения.

1.12. Увеличение единичной мощности установок

Увеличение единичной мощности установок помимо большого экономического эффекта позволяет улучшить условия и повысить безопасность труда, а также уменьшить общую протяжённость промежуточных (между цехами и установками) коммуникаций, что резко сокращает число арматуры и фланцевых соединений, являющихся потенциальными источниками газо- и паровыделений. При этом устраняются промежуточные емкости, вследствие чего уменьшается количество продукта, находящегося в системе, по сравнению с суммарным количеством продуктов в различных установках до укрупнения. Уменьшается также число насосов, компрессоров и другого оборудования, и они становятся более крупными, технически совершенными и удобными для обслуживания.

В результате устранения или сокращения процессов охлаждения и повторного нагревания продуктов сокращается число теплообменников и холодильников, неудобных в эксплуатации, ремонте и очистке. Компактное размещение отдельных частей установки облегчает ее автоматизацию.

Вместе с тем увеличение единичных мощностей ставит перед конструкторами, эксплуатационниками и ремонтниками новые задачи. Отсутствие резервных мощностей основного технологического оборудования и полностью автоматизированное управление требуют высокой степени надежности оборудования и особенно автоматической системы. Недопустимость длительных ремонтов основного оборудования требует разработки специального скоростного метода их проведения.

1.13. Технологический регламент как основа безопасных и здоровых условий труда

Практические требования к каждому работнику производства изложены в так называемых технологических регламентах.

Технологический регламент – основной технический документ, определяющий рецептуру и конструкцию изделий, режим и порядок про-

ведения операций технологического процесса. Безусловное соблюдение всех требований регламента является обязательным и обеспечивает необходимое количество выпускаемой продукции, рациональное и экономическое ведение производственного процесса, сохранность оборудования и безопасность работы.

Технологический регламент составляет научно-исследовательская (проектная) организация и утверждают руководители предприятия и вышестоящие организации (руководителя объединения, заместитель министра). Какие-либо изменения или дополнения действующих регламентов должны утверждаться той инстанцией, которой был принят регламент.

Технологический регламент включает общую характеристику производства, продукции и исходного сырья; описание технологического процесса по стадиям с указанием основных параметров и норм технологического режима; перечень возможных неполадок, их причины и способы устранения; способы контроля производства и основные правила безопасности ведения процесса; характеристику отходов производства, сточных вод и выбросов в атмосферу; перечень обязательных инструкций, в том числе по вопросам охраны труда и техники безопасности; материальный и тепловой балансы; технологическую схему производства; спецификацию основного технологического оборудования.

При составлении технологического регламента обращается внимание на полноту всех характеристик исходного сырья, полупродуктов и готовых продуктов, в том числе на их токсичные и взрывоопасные свойства. Указывается, к какой категории по взрывопожарной и пожарной опасности относится производство согласно нормам технологического проектирования, а также класс зон помещений и наружных установок по Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). В регламенте приводятся технические параметры нормального ведения процесса, такие, как среда, концентрация отдельных веществ, их температура, давление, скорости потоков, а также, что особенно важно, допустимые от них отклонения. Регламент построен так, что проведение процесса в пределах допустимых отклонений не приводит к нарушению его стабильности, следовательно, регламент – это, по существу, программа работы всего производственного персонала, ведущего процесс. Отступления от этой программы приводят к нарушению устойчивости процесса, ухудшению всех производственных показателей, а самое главное – к созданию опасной предаварийной ситуации.

1.14. Роль автоматизации в обеспечении безопасных условий труда

Автоматизация позволяет осуществлять производственный процесс по заранее заданному технологическому режиму без физических усилий человека, а лишь под его контролем.

В результате автоматизации повышается безопасность труда, улучшаются гигиенические условия его, повышается общая культура производства. В частности, автоматическое регулирование обеспечивает необходимую информацию о протекании технологического процесса, поддержание его регулируемых параметров в заданных регламентом пределах или их изменение по заранее определенной программе, предупреждение несвоевременных или ошибочных действий оператора, вывод обслуживающего персонала из вредных и опасных зон и др.

Для условий безопасности наибольшее значение имеют автоматический контроль, защита и блокировка.

1.15. Устройства автоматического контроля, регулирования и управления

В химической промышленности автоматическому контролю, регулированию и управлению технологическими процессами уделяется особое внимание, что объясняется сложностью протекающих химических процессов, применением пожаровзрывоопасных и токсичных веществ и материалов и т. д.

Автоматические системы контроля, регулирования и управления состоят из отдельных взаимосвязанных устройств, выполняющих ту или иную функцию контроля, регулирования или управления. Так, системы автоматического контроля служат для информации о протекании технологического процесса и состоят из датчиков и вторичных измерительных приборов. Контрольно-измерительные приборы устанавливаются на технологических аппаратах (местный контроль) или на щитах управления (дистанционный контроль).

Устройства регулирования предназначены для поддержания постоянного значения параметра процесса или изменения по заранее заданной программе. Эти устройства состоят из датчиков, задатчика, регулирующего устройства, исполнительного механизма, регулирующего органа и линии связи.

Датчик – один из ответственных звеньев автоматической системы контроля, регулирования и управления. Он служит для преобразования контролируемой или регулируемой величины в унифицированный электрический или пневматический выходной сигнал. Некоторые датчики

содержат также показывающий или самопишущий механизм для отсчета текущего значения контролируемой или регулируемой величины.

В системах автоматизации технологических процессов большое внимание уделяется устройствам сигнализации, предназначенной для автоматического оповещения обслуживающего персонала о состоянии контролируемого объекта путем подачи световых или звуковых сигналов. По назначению различают сигнализацию технологическую и контрольную. Контрольная сигнализация указывает на состояние объекта (включен или выключен) или положение регулирующих органов (открыты или закрыты) в данный момент. Этот вид сигнализации осуществляется с использованием ламп.

Технологическая сигнализация оповещает о нарушениях нормального хода технологического процесса, она может быть предупредительной и аварийной. Разделение сигнализации на предупредительную и аварийную обеспечивает различную реакцию персонала на полученную информацию в зависимости от характера сигнала, определяющего степень нарушения технологического процесса.

Предупредительная сигнализация выдает сигнал о ненормальных, но еще допустимых значениях контролируемых или регулируемых величин, о нарушениях нормального режима работы отдельных агрегатов или всей установки в целом. Появление предупредительных сигналов говорит о необходимости принятия мер для устранения возникающих неисправностей. При возникновении предупредительных сигналов лампы загораются ровным светом и выдается звуковой сигнал (нерезкий звонок) для привлечения внимания персонала.

Аварийная сигнализация оповещает о недопустимых значениях параметров процесса, об аварийных состояниях или отключениях какого-либо аппарата. Аварийная сигнализация, требующая немедленного вмешательства персонала, осуществляется мигающим светом и звуком резкого тона (гудком). Появление аварийных сигналов часто сопровождается действием устройств автоматической защиты или блокировки.

1.16. Устройства автоматической защиты

Они предназначены для предупреждения аварийных ситуаций в результате воздействия на технологический процесс при критическом значении параметров с тем, чтобы предотвратить переход предаварийного состояния и аварийное.

Автоматическую защиту широко применяют в химической промышленности. Например: при чрезмерном повышении уровня продукта или давления в аппаратах автоматика отключает подачу продукта и открывает стравливающие устройства; при превышениях температуры

прекращает подачу теплоносителя или увеличивает охлаждение; включает аварийную вентиляцию при достижении опасных концентраций в помещении; в случае разрыва коммуникации отключает поврежденный участок и т. п.

Систему автоматической защиты выбирают в зависимости от характера производства и параметров процесса, определяющих его безопасность.

Любая система защиты включает датчики, измеряющие параметры; исполнительные устройства, ликвидирующие аварийную ситуацию и приводящие параметр к нормальному уровню; логические устройства, принимающие сигналы и координирующие действия исполнительных устройств, сигнализации и датчиков.

В химической промышленности применяют системы типа «Азис», «Логика» и др. Система автоматической защиты и сигнализации «Азис» предназначена для непрерывного автоматического контроля воздушной среды производственных помещений, обнаружения опасной загазованности воздушной среды взрывоопасными продуктами. Датчиками в системе являются термохимические сигнализаторы до взрывоопасных концентраций типа СВК-3М1, СТХ-IV4, ЩИТ-1У4, а исполнительными механизмами служат электродвигатели и пневматические отсекатели во взрывозащищенном исполнении.

Система «Азис» позволяет принять сигналы от 20 до 40 датчиков о достижении сигнальных концентраций (5–50 % от нижнего предела воспламенения); обработать сигналы в соответствии с задачей защиты и выдавать сигналы команд на включение аварийной вентиляции, срабатывание исполнительных механизмов и других действий для ликвидации аварий.

1.17. Устройства автоматической блокировки

Эти устройства служат для предотвращения неправильной последовательности включения аппаратов, машин и приборов, что может привести к авариям, взрывам или травмам. Чаще всего блокирующие устройства являются запретно-разрешающими, т. е. препятствуют неправильному включению или выключению аппаратов, машин, не допускают открытия аппарата, работающего под давлением, до полного стравливания давления и др. Например, центрифугу блокируют таким образом, чтобы ее нельзя было включить, если открыта крышка, или нельзя открыть крышку до полной остановки центрифуги.

В химической промышленности широко применяют блокировочные защитные устройства (отсекатели, автоматические отключатели и др.), прекращающие подачу пожаро- и взрывоопасных газов и жидкостей

в аварийных условиях, а также в случае прорыва газов и жидкостей. Так, при эксплуатации печей пиролиза углеводородов создается опасность образования в топочном пространстве и аппаратуре газовых смесей взрывоопасных концентраций. Это может произойти в результате проскока или отрыва пламени в горелках, разрушения труб при их перегреве. Для предотвращения проскока или отрыва пламени применяют блокировку, подающую сигнал на прекращение подачи газа к горелкам при падении или резком увеличении давления воздушного дутья, применяют клапан блокировки газа и воздуха, предотвращающий неконтролируемое возобновление подачи газа клапаном и ускоряющий его срабатывание при прекращении подачи или снижении давления воздуха.

В производстве серной кислоты предусматривается система автоматического управления, отсекающая сток воды из поддонов оросительных холодильников, загрязненной кислотой, и направляющая эту воду на нейтрализацию.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО УСТРОЙСТВУ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Росгортехнадзором России устанавливаются специальные «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» [5], исполнение которых обязательно для всех министерств и ведомств.

Эти правила устанавливают требования к проектированию, устройству, изготовлению, реконструкции, наладке, монтажу, ремонту, техническому диагностированию и эксплуатации сосудов, цистерн, бочек, баллонов, барокамер, работающих под избыточным давлением. Требования к монтажу и ремонту аналогичны требованиям к изготовлению.

Правила распространяются на:

- сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115 °С или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа, без учета гидростатического давления;
- сосуды, работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;
- баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07;
- цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжатых и сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;
- цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых и сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически для их опорожнения;
- барокамеры.

Правила не распространяются:

- на сосуды, изготавливаемые в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок», утверждаемыми Госатомнадзором России, а также сосуды, работающие с радиоактивной средой;
- сосуды вместимостью не более 0,025 м³ (25 л) независимо от давления, используемые для научно-экспериментальных целей. При определении вместимости из общей емкости сосуда исключается объем, занимаемый футеровкой, трубами и другими внутренними устройствами. Группа сосудов, а также сосуды, состоящие из отдельных корпусов и соединенные между собой трубами с внутренним диаметром более 100 мм, рассматриваются как один сосуд;

- сосуды и баллоны вместимостью не более 0,025 м³ (25 л), у которых произведение давления в МПа (кгс/см²) на вместимость в м³ (литрах) не превышает 0,02 (200);
- сосуды, работающие под давлением, создающимся при взрыве внутри них в соответствии с технологическим процессом;
- сосуды, работающие под вакуумом;
- сосуды, устанавливаемые на морских, речных судах и других плавучих средствах (кроме драг);
- сосуды, устанавливаемые на самолетах и других летательных аппаратах;
- воздушные резервуары тормозного оборудования подвижного состава железнодорожного транспорта, автомобилей и других средств передвижения;
- сосуды специального назначения военного ведомства;
- приборы парового и водяного отопления;
- трубчатые печи;
- сосуды, состоящие из труб с внутренним диаметром не более 150 мм без коллекторов, а также с коллекторами, выполненными из труб с внутренним диаметром не более 150 мм;
- части машин, не представляющие собой самостоятельных сосудов (корпуса насосов или турбин, цилиндры двигателей паровых, гидравлических, воздушных машин и компрессоров).

Отступление от Правил Ростехнадзора может быть допущено лишь в исключительном случае по разрешению Ростехнадзора России.

Проекты сосудов и их элементов (в том числе запасных частей к ним), а также проекты их монтажа или реконструкции должны выполняться организациями, имеющими разрешение (лицензию) органов Ростехнадзора России на проведение соответствующих работ.

Правила Ростехнадзора обязательны для исполнения всеми должностными лицами, специалистами и работниками, занятыми проектированием, изготовлением, реконструкцией, монтажом, наладкой, ремонтом, техническим диагностированием и эксплуатацией сосудов. Лица, допустившие нарушение настоящих Правил, несут ответственность в соответствии с действующим законодательством.

2.1. Общие требования

Конструкция сосудов должна обеспечивать надежность и безопасность эксплуатации в течение расчетного срока службы и предусматривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки, полного опорожнения, продувки, ремонта, эксплуатационного контроля металла и соединений.

Для каждого сосуда должен быть установлен и указан в паспорте расчетный срок службы с учетом условий эксплуатации. При отсутствии нормативного метода расчет на прочность должен выполняться по методике, согласованной со специализированной научно-исследовательской организацией.

Устройства, препятствующие наружному и внутреннему осмотрам сосудов (мешалки, змеевики, рубашки, тарелки, перегородки и другие приспособления), должны быть, как правило, съемными.

При применении приварных устройств должна быть предусмотрена возможность их удаления для проведения наружного и внутреннего осмотров и последующей установки на место. Порядок съема и установки этих устройств должен быть указан в инструкции по монтажу и эксплуатации сосуда.

Если конструкция сосуда не позволяет провести наружный и внутренний осмотры или гидравлическое испытание, предусмотренные требованиями настоящих Правил, разработчиком проекта сосуда в инструкции по монтажу и эксплуатации должны быть указаны методика, периодичность и объем контроля, выполнение которых обеспечит своевременное выявление и устранение дефектов.

Заземление и электрическое оборудование сосудов должны соответствовать «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

2.2. Люки, лючки, крышки

Сосуды должны быть снабжены необходимым количеством люков и смотровых лючков, обеспечивающих осмотр, очистку и ремонт сосудов, а также монтаж и демонтаж разборных внутренних устройств.

Сосуды, состоящие из цилиндрического корпуса и решеток с закрепленными в них трубками (теплообменники), и сосуды, предназначенные для транспортирования и хранения криогенных жидкостей, а также сосуды, предназначенные для работы с веществами 1-го и 2-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007–76, но не вызывающие коррозии и накипи, допускается изготавливать без люков и лючков независимо от диаметра сосудов при условии выполнения требования ст. 2.1.4 Правил Росгортехнадзора.

Сосуды с внутренним диаметром более 800 мм должны иметь люки, а с внутренним диаметром 800 мм и менее – лючки.

Внутренний диаметр круглых люков должен быть не менее 400 мм, внутренний диаметр круглых лючков должен быть не менее 80 мм. Люки, лючки необходимо располагать в местах, доступных для обслужива-

ния. Крышки люков должны быть съемными. Крышки массой более 20 кг должны быть снабжены подъемно-поворотными или другими устройствами.

В сосудах применяются эллиптические, полусферические, торо-сферические, сферические, конические и плоские днища.

2.5. Расположение отверстий в стенках сосудов

Отверстия для люков, лючков и штуцеров должны располагаться, как правило, вне сварных швов.

Допускается расположение отверстий:

- на продольных швах цилиндрических и конических обечаек сосудов, если номинальный диаметр отверстий не более 150 мм;
- на кольцевых швах цилиндрических и конических обечаек сосудов без ограничения диаметра отверстий;
- на швах выпуклых днищ без ограничения диаметра отверстий при условии 100 % проверки сварных швов днищ методом радиографии или ультразвуковой дефектоскопии.

2.4. Материалы

Материалы, применяемые для изготовления сосудов, должны обеспечивать их надежную работу в течение расчетного срока службы с учетом заданных условий эксплуатации (расчетное давление, минимальная отрицательная и максимальная расчетная температура), состава и характера среды (коррозионная активность, взрывоопасность, токсичность и др.) и влияния температуры окружающего воздуха.

Методы и объемы контроля основных материалов должны определяться на основании стандартов и технических условий, согласованных с Росгортехнадзором России.

Изготовление (доизготовление), реконструкция, монтаж, наладка и ремонт сосудов и их элементов должны выполняться специализированными организациями, располагающими техническими средствами, необходимыми для качественного выполнения работ.

Отклонение наружного (внутреннего) диаметра обечаек, цилиндрических отбортованных элементов днищ, сферических днищ, изготовленных из листов и поволоков, не должно превышать 1 % номинального диаметра. Овальность в любом поперечном сечении не должна превышать 1 %.

Смещение кромок листов, измеряемое по срединной поверхности, в стыковых соединениях, определяющих прочность сосуда, не должно превышать 3 мм.

2.5. Сварка

При изготовлении (доизготовлении), монтаже, ремонте, реконструкции применяемая сварка сосудов и их элементов должна производиться в соответствии с требованиями на изготовление сосудов, утвержденными инструкцией, технологической документацией.

Технологическая документация должна содержать указания по технологии сварки металлов, принятых для изготовления сосудов и их элементов, по применению присадочных материалов, видам и объему контроля, а также предварительному и сопутствующему подогреву и термической обработке.

Сварочные материалы, применяемые для сварки сосудов, должны соответствовать требованиям стандартов и технических условий, и должны быть проконтролированы:

а) каждая партия электродов:

- на сварочно-технологические свойства согласно ГОСТ 9466–75;
- на соответствие содержания легирующих элементов нормированному составу путем стилоскопирования наплавленного металла, выполненного легированными электродами (типов Э-09Х1М, Э-09Х1МФ, аустенитных и др.);

б) каждая партия порошковой проволоки – на сварочно-технологические свойства согласно ГОСТ 26271–84;

в) каждая бухта (моток, катушка) легированной сварочной проволоки – на наличие основных легирующих элементов, регламентированных ГОСТ 2246–70, путем стилоскопирования.

Все сварные швы подлежат клеймению, позволяющему установить сварщика, выполняющего эти швы. Место клеймения заключается в хорошо видимую рамку, выполняемую несмываемой краской или электрографом, и указано в паспорте сосуда.

Контроль качества сварки и сварных соединений включает:

- проверку аттестации персонала;
- проверку сборочно-сварочного, термического и контрольного оборудования, аппаратуры, приборов и инструментов;
- контроль качества основных материалов;
- контроль качества сварочных материалов и материалов для дефектоскопии;
- операционный контроль технологии сварки;
- неразрушающий контроль качества сварных соединений;
- разрушающий контроль качества сварных соединений;
- контроль исправления дефектов.

Термическая обработка элементов сосудов производится для обеспечения соответствия свойств металла и сварных соединений показате-

лям, принятым в нормативной документации (НД) на металл и сварку, а также для снижения остаточных напряжений, возникающих при выполнении технологических операций (сварки, гибки, штамповки и др.).

В процессе изготовления сосудов должны проверяться:

- соответствие металла свариваемых деталей и сварочных материалов требованиям НД;
- соответствие качества подготовки кромок и сборки под сварку требованиям действующих стандартов и чертежей;
- соблюдение технологического процесса сварки и термической обработки, разработанных в соответствии с требованиями НД.

Основными видами неразрушающего контроля металла и сварных соединений являются:

- визуальный и измерительный;
- радиографический;
- ультразвуковой;
- радиоскопический (допускается применять только по инструкции, согласованной с Росгортехнадзором России);
- стилоскопирование;
- измерение твердости;
- гидравлические и пневматические испытания.

Кроме этого, могут применяться другие методы (акустическая эмиссия, магнитография, цветная дефектоскопия, определение содержания в металле шва ферритной фазы и др.) в соответствии с техническими условиями (ТУ) организации-изготовителя.

Результаты по каждому виду контроля должны фиксироваться в отчетной документации. Сведения о контроле сварных соединений основных элементов сосудов, работающих под давлением, должны заноситься в паспорт сосуда.

2.6. Гидравлическое (пневматическое) испытание

Гидравлическому испытанию подлежат все сосуды после их изготовления. Сосуды, изготовление которых заканчивается на месте установки, транспортируемые на место монтажа частями, подвергаются гидравлическому испытанию на месте монтажа.

Сосуды, имеющие защитное покрытие или изоляцию, подвергаются гидравлическому испытанию до наложения покрытия или изоляции. Сосуды, имеющие наружный кожух, подвергаются гидравлическому испытанию до установки кожуха.

Допускается эмалированные сосуды подвергать гидравлическому испытанию рабочим давлением после эмалирования. Использование сжатого воздуха или другого газа для подъема давления не допускается.

Обстукивание стенок корпуса, сварных и разъемных соединений сосуда во время испытаний не допускается.

Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружено:

- течи, трещин, слезок, потения в сварных соединениях и на основном металле;
- течи в разъемных соединениях;
- видимых остаточных деформаций, падения давления по манометру.

Пневматическое испытание сосуда проводится сжатым воздухом или инертным газом.

2.7. Документация и маркировка

Каждый сосуд должен поставляться изготовителем заказчику с паспортом установленной формы. К паспорту должна быть приложена инструкция по монтажу и эксплуатации. Паспорт сосуда должен быть составлен на русском языке и по требованию заказчика – на другом языке. Допускается к паспорту прикладывать распечатки расчетов, выполненных на ЭВМ.

Элементы сосудов (корпуса, обечайки, днища, крышки, трубные решетки, фланцы корпуса, укрупненные сборочные единицы), предназначенные для реконструкции или ремонта, должны поставляться изготовителем с удостоверением о качестве изготовления, содержащим сведения в объеме согласно требованиям соответствующих разделов паспорта.

На каждом сосуде должна быть прикреплена табличка, выполненная в соответствии с ГОСТ 12971–67. Для сосудов наружным диаметром менее 325 мм допускается табличку не устанавливать. При этом все необходимые данные должны быть нанесены на корпус сосуда электрографическим методом. На табличке должны быть нанесены:

- товарный знак или наименование изготовителя;
- наименование или обозначение сосуда;
- порядковый номер сосуда по системе нумерации изготовителя;
- год изготовления;
- рабочее давление, МПа;
- расчетное давление, МПа;
- пробное давление, МПа;
- допустимая максимальная и (или) минимальная рабочая температура стенки, °С;
- масса сосуда, кг.

2.8. Арматура, контрольно-измерительные приборы, предохранительные устройства

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуда в зависимости от назначения должны быть оснащены:

- запорной или запорно-регулирующей арматурой;
- приборами для измерения давления;
- приборами для измерения температуры;
- предохранительными устройствами;
- указателями уровня жидкости.

Сосуды, снабженные быстросъемными крышками, должны иметь предохранительные устройства, исключающие возможность включения сосуда под давление при неполном закрытии крышки и открывании ее при наличии в сосуде давления. Такие сосуды также должны быть оснащены замками с ключом-маркой.

Запорная и запорно-регулирующая арматура должна устанавливаться на штуцерах, непосредственно присоединенных к сосуду или на трубопроводах, подводящих к сосуду и отводящих из него рабочую среду. В случае последовательного соединения нескольких сосудов необходимость установки такой арматуры между ними определяется разработчиком проекта.

Арматура должна иметь следующую маркировку:

- наименование или товарный знак изготовителя;
- условный проход, мм;
- условное давление, МПа (допускается указывать рабочее давление и допустимую температуру);
- направление потока среды;
- марку материала корпуса.

Каждый сосуд и самостоятельные полости с разными давлениями должны быть снабжены манометрами прямого действия. Манометр устанавливается на штуцере сосуда или трубопроводе между сосудом и запорной арматурой. Манометры должны иметь класс точности не ниже: 2,5 при рабочем давлении сосуда до 2,5 МПа (25 кгс/см^2), 1,5 при рабочем давлении сосуда свыше 2,5 МПа (25 кгс/см^2).

Установка манометров на высоте более 3 м от уровня площадки не разрешается.

Сосуды, работающие при изменяющейся температуре стенок, должны быть снабжены приборами для контроля скорости и равномерности прогрева по длине и высоте сосуда и реперами для контроля тепловых перемещений.

Каждый сосуд (полость комбинированного сосуда) должен быть снабжен предохранительными устройствами от повышения давления

выше допустимого значения. В качестве предохранительных устройств применяются:

- пружинные предохранительные клапаны;
- рычажно-грузовые предохранительные клапаны;
- импульсные предохранительные устройства (ИПУ), состоящие из главного предохранительного клапана (ГПК) и управляющего импульсного клапана (ИПК) прямого действия;
- предохранительные устройства с разрушающимися мембранами (мембранные предохранительные устройства МПУ);
- другие устройства, применение которых согласовано с Росгортехнадзором России.

Установка рычажно-грузовых клапанов на передвижных сосудах не допускается.

При необходимости контроля уровня жидкости в сосудах, имеющих границу раздела сред, должны применяться указатели уровня. Кроме указателей уровня, на сосудах могут устанавливаться звуковые, световые и другие сигнализаторы и блокировки по уровню.

2.9. Регистрация сосудов

Сосуды, на которые распространяются «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», до пуска их в работу должны быть зарегистрированы в органах Росгортехнадзора России. По решению Росгортехнадзора России регистрация сосудов может производиться в организациях владельцев сосудов.

Регистрации в органах Росгортехнадзора России не подлежат:

- сосуды 1-й группы, работающие при температуре стенки не выше 200 °С, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м³ не превышает 0,05, а также сосуды 2-й, 3-й, 4-й групп, работающие при указанной выше температуре, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м³ не превышает 1,0;
- аппараты воздухоразделительных установок и разделения газов, расположенные внутри теплоизоляционного кожуха (регенераторы, колонны, теплообменники, конденсаторы, адсорберы, отделители, испарители, фильтры, переохладители и подогреватели);
- резервуары воздушных электрических выключателей;
- бочки для перевозки сжиженных газов, баллоны вместимостью до 100 л включительно, установленные стационарно, а также предназначенные для транспортировки и (или) хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов;
- генераторы (реакторы) для получения водорода, используемые гидрометеорологической службой;

– сосуды, включенные в закрытую систему добычи нефти и газа (от скважины до магистрального трубопровода), к которым относятся сосуды, включенные в технологический процесс подготовки к транспорту и утилизации газа и газового конденсата: сепараторы всех ступеней сепарации, отбойные сепараторы (на линии газа, на факелах), абсорберы и адсорберы, емкости разгазирования конденсата, абсорбента и ингибитора, конденсатосборники, контрольные и замерные сосуды нефти, газа и конденсата;

– сосуды для хранения или транспортировки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, находящихся под давлением периодически при их опорожнении;

– сосуды со сжатыми и сжиженными газами, предназначенные для обеспечения топливом двигателей транспортных средств, на которых они установлены;

– сосуды, установленные в подземных горных выработках.

2.10. Техническое освидетельствование

Сосуды, на которые распространяется действие настоящих Правил, должны подвергаться техническому освидетельствованию после монтажа, до пуска в работу, периодически в процессе эксплуатации и в необходимых случаях внеочередному освидетельствованию.

Если по условиям производства не представляется возможным предъявить сосуд для освидетельствования в назначенный срок, владелец обязан предъявить его досрочно.

Владелец несет ответственность за своевременную и качественную подготовку сосуда для освидетельствования.

Разрешение на ввод в эксплуатацию сосуда, подлежащего регистрации в органах Ростехнадзора России, выдается инспектором после его регистрации на основании технического освидетельствования и проверки организации обслуживания и надзора, при которой контролируется:

– наличие и исправность в соответствии с требованиями Правил Ростехнадзора арматуры, контрольно-измерительных приборов и приборов безопасности;

– соответствие установки сосуда правилам безопасности;

– правильность включения сосуда;

– наличие аттестованного обслуживающего персонала и специалистов;

– наличие должностных инструкций для лиц по надзору за техническим состоянием сосудов и их эксплуатацией, ответственных за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов, инструкции по

режиму работы и безопасному обслуживанию, сменных журналов и другой документации, предусмотренной Правилами Росгортехнадзора.

2.11. Дополнительные требования к баллонам

На верхней сферической части каждого баллона должны быть выбиты и отчетливо видны следующие данные:

- товарный знак изготовителя;
- номер баллона;
- фактическая масса порожнего баллона (кг): для баллонов вместимостью до 12 л включительно с точностью до 0,1 кг; свыше 12 до 55 л включительно с точностью до 0,2 кг; масса баллонов вместимостью свыше 55 л указывается в соответствии с ГОСТ или ТУ на их изготовление;
- дата (месяц, год) изготовления и год следующего освидетельствования;
- рабочее давление P , МПа;
- пробное гидравлическое давление $P_{пр}$, МПа;
- вместимость баллонов, в литрах. Для баллонов вместимостью до 12 л включительно номинальная; для баллонов вместимостью свыше 12 и до 55 л включительно фактическая с точностью до 0,3 л; для баллонов вместимостью свыше 55 л в соответствии с НД на их изготовление;
- клеймо ОТК изготовителя круглой формы диаметром 10 мм (за исключением стандартных баллонов вместимостью свыше 55 л);
- номер стандарта для баллонов вместимостью свыше 55 л.

Высота знаков на баллонах должна быть не менее 6 мм, а на баллонах вместимостью свыше 55 л не менее 8 мм.

Масса баллонов, за исключением баллонов для ацетилена, указывается с учетом массы нанесенной краски, кольца для колпака и башмака, если таковые предусмотрены конструкцией, но без массы вентиля и колпака.

Наружная поверхность баллонов должна быть окрашена. Цвет окраски и текст надписей для баллонов, используемых в специальных установках или предназначенных для наполнения газами специального назначения, должны быть согласованы с Росгортехнадзором России.

3. ЗАЩИТА ОТ ДАВЛЕНИЯ

Внутренние объемы герметичных систем ограничивают среду, которая может быть нагретой, охлажденной, химически активной и т. п. Давление внутри герметичных систем может изменяться от сотен мегапаскаль до значений, характерных для глубокого вакуума. Нарушение герметичности, т. е. разгерметизация, не только нежелательна с технической точки зрения, но и опасна для обслуживающего персонала и производства в целом.

Требуемая герметичность системы, и в первую очередь ее взрывобезопасность, обеспечивается на стадии проектирования выбором материала элементов системы и выполнением прочностных расчетов, применением и расчетом предохранительных устройств. Проектирование герметичных систем должно проводиться в соответствии с требованиями Росгортехнадзора России.

Наибольшие трудности в создании герметичности возникают при применении в системах разъемных соединений (фланцевых соединений, клапанов, вентилей). Герметичность неподвижных соединений обычно достигается применением уплотнений, а подвижных – за счет выбора материала и повышенных требований к шероховатости поверхности контактных элементов конструкции, за счет обеспечения необходимого контактного давления на уплотнительных поверхностях. Абсолютная герметичность разъемных соединений недостижима, поэтому при проектировании герметичных систем возникает необходимость расчета допустимых утечек среды и разработка комплекса мер по их локализации и ограничению воздействия на рабочую зону.

При конструировании сосудов их составляющим частям обычно придают простейшие геометрические формы. Широкое распространение получили гладкие цилиндрические обечайки, выпуклые (эллиптические, полусферические, тороидальные) и плоские круглые днища и крышки из углеродистых и легированных сталей, нагруженные внутренним или внешним давлением.

Нормы и методы расчетов на прочность, изложенные в ГОСТ 14249–89, применимы при соблюдении «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» и при условии, что отклонение от геометрической формы и неточности изготовления рассчитываемых элементов сосудов не превышают допусков, установленных нормативно-технической документацией. Расчет на прочность обычно позволяет определить толщину стенки конкретного элемента сосуда по значению расчетного давления.

До проведения расчета на прочность необходимо выбрать конструкционный материал, определить основные размеры сосуда, температуру его стенки (за расчетную температуру элемента сосуда принимают наибольшее значение температуры стенки; при температуре среды ниже 20 °С за расчетную температуру элемента при определении допускаемых напряжений принимают температуру, равную 20 °С; при обогреве открытым пламенем, отработанными газами или электронагревателями расчетная температура элемента принимается равной температуре среды, увеличенной на 20 К при закрытом обогреве и на 50 К при прямом обогреве, если нет более точных данных) и рабочее давление p_p , под которым понимают максимальное избыточное (внутреннее или наружное) давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса без учета допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительных устройств и гидростатического давления.

Конструкционный материал выбирают с учетом его технологических свойств, дефицитности, стоимости и других факторов.

3.1. Классификация взрывоопасных и пожароопасных зон

Класс взрывоопасной зоны, в соответствии с которым производится выбор электрооборудования, определяется технологами совместно с электриками проектной или эксплуатирующей организации.

При определении взрывоопасных зон принимается, что:

а) взрывоопасная зона в помещении занимает весь объем помещения, если объем взрывоопасной смеси превышает 5 % свободного объема помещения;

б) взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), если объем взрывоопасной смеси равен или менее 5 % свободного объема помещения.

Помещение за пределами взрывоопасной зоны следует считать невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность;

в) взрывоопасная зона наружных взрывоопасных установок ограничена определяемыми размерами.

Объемы взрывоопасных газо- и паровоздушной смесей, а также время образования паровоздушной смеси определяются в соответствии с «Указаниями по определению категории производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности», утвержденными в установленном порядке.

В помещениях с производствами категорий А, Б и Е электрооборудование должно удовлетворять требованиям к электроустановкам во взрывоопасных зонах соответствующих классов.

Зоны класса В-I – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.

Зоны класса В-Ia – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Зоны класса В-Iб – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей:

Горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005–76 (например – машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок).

Помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения. Взрывоопасная зона условно принимается от отметки 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей).

Пункт 2 не распространяется на электромашинные помещения, оборудованные турбогенераторами с водородным охлаждением, при условии обеспечения электромашинного помещения вытяжной вентиляцией с естественным побуждением; эти электромашинные помещения имеют нормальную среду.

К классу В-Iб относятся также зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших количествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения, и в которых работа

с горючими газами и ЛВЖ производится без применения открытого пламени. Эти зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

Зоны класса В-Іг – пространства у наружных установок:

– технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ (за исключением наружных аммиачных компрессорных установок, выбор электрооборудования для которых производится как для наружных взрывоопасных установок);

– надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры);

– эстакад для слива и налива ЛВЖ;

– открытых нефтеловушек;

– прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.

К зонам класса В-Іг также относятся:

– пространства у проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений со взрывоопасными зонами классов В-І, В-Іа и В-ІІ (исключение – проемы окон с заполнением стеклблоками);

– пространства у наружных ограждающих конструкций, если на них расположены устройства для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений со взрывоопасными зонами любого класса или если они находятся в пределах наружной взрывоопасной зоны;

– пространства у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами и ЛВЖ.

Для наружных взрывоопасных установок взрывоопасная зона класса В-Іг считается в пределах:

а) до 0,5 м по горизонтали и вертикали от проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений со взрывоопасными зонами классов В-І, В-Іа, В-ІІ;

б) до 3 м по горизонтали и вертикали от закрытого технологического аппарата, содержащего горючие газы или ЛВЖ; от вытяжного вентилятора, установленного снаружи (на улице) и обслуживающего помещения со взрывоопасными зонами любого класса;

в) до 5 м по горизонтали и вертикали от устройств для выброса из предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с горючими газами или ЛВЖ, от расположенных на ограждающих конструкциях зданий устройств для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений с взрывоопасными зонами любого класса;

г) до 8 м по горизонтали и вертикали от резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры); при наличии обвалования – в пределах всей площади внутри обвалования;

д) до 20 м по горизонтали и вертикали от места открытого слива и налива для эстакад с открытым сливом и наливом ЛВЖ.

Эстакады с закрытыми сливно-наливными устройствами, эстакады и опоры под трубопроводы для горючих газов и ЛВЖ не относятся к взрывоопасным, за исключением зон в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от запорной арматуры и фланцевых соединений трубопроводов, в пределах которых электрооборудование должно быть взрывозащищенным для соответствующей категории и группы взрывоопасной смеси.

Зоны класса В-II – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов).

Зоны класса В-IIа – зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Зоны в помещениях и зоны наружных установок в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от аппарата, в котором присутствуют или могут возникнуть взрывоопасные смеси, но технологический процесс ведется с применением открытого огня, раскаленных частей либо технологические аппараты имеют поверхности, нагретые до температуры самовоспламенения горючих газов, паров ЛВЖ, горючих пылей или волокон, не относятся в части их электрооборудования к взрывоопасным.

Классификацию среды в помещениях или среды наружных установок за пределами указанной 5-метровой зоны следует определять в зависимости от технологических процессов, применяемых в этой среде.

Зоны в помещениях и зоны наружных установок, в которых твердые, жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания, не относятся в части их электрооборудования к взрывоопасным.

В помещениях отопительных котельных, встроенных в здания и предназначенных для работы на газообразном топливе или на жидком топливе с температурой вспышки 61 °С и ниже, требуется предусматривать необходимый минимум взрывозащищенных светильников, включаемых перед началом работы котельной установки. Выключатели для светильников устанавливаются вне помещения котельной.

Электродвигатели вентиляторов, включаемых перед началом работы котельной установки, и их пускатели, выключатели и др., если они

размещены внутри помещений котельных установок, должны быть взрывозащищенными и соответствовать категории и группе взрывоопасной смеси. Проводка к вентиляционному электрооборудованию и светильникам должна соответствовать классу взрывоопасной зоны.

В случае применения для окраски материалов, которые могут образовывать взрывоопасные смеси, когда окрасочные и сушильные камеры располагаются в общем технологическом потоке производства, при соблюдении требований ГОСТ 12.3.005–75 зона относится к *взрывоопасной* в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от открытых проемов камер, если общая площадь этих камер не превышает 200 м² при общей площади помещения до 2000 м² или 10 % при общей площади помещения более 2000 м².

В случае бескамерной окраски изделий в общем технологическом потоке на открытых площадках при условии соблюдения требований ГОСТ 12.3.005–75 зона относится к *взрывоопасной* в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от края решетки и от окрашиваемых изделий, если площадь решеток не превышает 200 м² при общей площади помещения до 2000 м² или 10 % при общей площади помещения более 2000 м².

Если общая площадь окрасочных и сушильных камер или решеток превышает 200 м² при общей площади помещения до 2000 м² или 10 % при общей площади помещения более 2000 м², размер взрывоопасной зоны определяется в зависимости от объема взрывоопасной смеси.

Помещение за пределами взрывоопасной зоны следует считать невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность.

Зоны внутри окрасочных и сушильных камер следует приравнивать к зонам, расположенным внутри технологических аппаратов.

Требования настоящего параграфа на эти зоны не распространяются.

Зоны в помещениях вытяжных вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны любого класса, относятся к взрывоопасным зонам того же класса, что и обслуживаемые ими зоны.

Для вентиляторов, установленных за наружными ограждающими конструкциями и обслуживающих взрывоопасные зоны классов В-I, В-Ia, В-II, электродвигатели применяются как для взрывоопасной зоны класса В-Iг, а для вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны классов В-Iб и В-IIa, – согласно табл. 3.1 для этих классов.

Зоны в помещениях приточных вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны любого класса, не относятся к взрывоопасным, если приточные воздуховоды оборудованы самозакрывающимися обратными клапанами, не допускающими проникновения взрывоопасных смесей в помещения приточных вентиляторов при прекращении подачи воздуха.

Таблица 3.1

Класс зоны помещения,
смежного со взрывоопасной зоной другого помещения

Класс взрыво- опасной зоны	Класс зоны помещения, смежного со взрывоопасной зоной другого помещения и отделенного от нее	
	стеной (перегородкой) с дверью, находящейся во взрывоопасной зоне	стеной (перегородкой без проемов или с проемами, оборудованными тамбур-шлюзами, или с дверями, находящимися вне взрывоопасной зоны
В-I	В-Ia	Невзрыво- и непожароопасная
В-Ia	В-Iб	Невзрыво- и непожароопасная
В-Iб	Невзрыво- и непожароопасная	Невзрыво- и непожароопасная
В-II	В-IIa	Невзрыво- и непожароопасная
В-IIa	Невзрыво- и непожароопасная	Невзрыво- и непожароопасная

При отсутствии обратных клапанов помещения приточных вентиляторов имеют взрывоопасные зоны того же класса, что и обслуживаемые ими зоны.

Взрывоопасные зоны, содержащие легкие, не сжиженные горючие газы или ЛВЖ, при наличии признаков класса В-I, допускается относить к классу В-Ia при условии выполнения следующих мероприятий:

а) в случае устройства системы вентиляции с установкой нескольких вентиляционных агрегатов при аварийной остановке одного из них остальные должны полностью обеспечить требуемую производительность системы вентиляции, а также достаточную равномерность действия вентиляции по всему объему помещения, включая подвалы, каналы и их повороты;

б) в случае устройства автоматической сигнализации, действующей при возникновении в любом пункте помещения концентрации горючих газов или паров ЛВЖ, не превышающей 20 % нижнего концентрационного предела воспламенения, а для вредных взрывоопасных газов – также при приближении их концентрации к предельно допустимой по ГОСТ 12.1.005–76 количество сигнальных приборов, их расположение, а также система их резервирования должны обеспечить безотказное действие сигнализации.

В производственных помещениях без взрывоопасной зоны, отделенных стенами (с проемами или без них) от взрывоопасной зоны смежных помещений, следует принимать взрывоопасную зону, класс которой определяется в соответствии с табл. 3.1, размер зоны – до 5 м по горизонтали и вертикали от проема двери.

Пожароопасной зоной называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращают-

ся горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Зоны класса П-I – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С.

Зоны класса П-II – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м³ к объему воздуха.

Зоны класса П-IIa – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества.

Зоны класса П-III – расположенные вне помещений зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества.

Зоны в помещениях и зоны наружных установок в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от аппарата, в которых постоянно или периодически обращаются горючие вещества, но технологический процесс ведется с применением открытого огня, раскаленных частей либо технологические аппараты имеют поверхности, нагретые до температуры самовоспламенения горючих паров, пылей или волокон, не относятся в части их электрооборудования к пожароопасным. Класс среды в помещениях или среды наружных установок за пределами указанной 5-метровой зоны следует определять в зависимости от технологических процессов, применяемых в этой среде. Зоны в помещениях и зоны наружных установок, в которых твердые, жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания, не относятся в части их электрооборудования к пожароопасным.

Зоны в помещениях вытяжных вентиляторов, а также в помещениях приточных вентиляторов (если приточные системы работают с применением рециркуляции воздуха), обслуживающих помещения с пожароопасными зонами класса П-II, относятся также к пожароопасным зонам класса П-II. Зоны в помещениях вентиляторов местных отсосов относятся к пожароопасным того же класса, что и обслуживаемая ими зона. Для вентиляторов, установленных за наружными ограждающими конструкциями и обслуживающих пожароопасные зоны класса П-II и пожароопасные зоны любого класса местных отсосов, электродвигатели выбираются как для пожароопасной зоны класса П-III.

Электрические машины, приборы, аппараты, шкафы и сборки должны иметь минимальные допустимые степени защиты оболочек для пожароопасных зон классов П-I, П-IIa и П-III не менее IP44. Для П-II – не менее IP54 (IP44 при установке аппаратов и приборов, не искрящих по условиям работы).

Электрические светильники должны иметь степень защиты в классах пожароопасных зон П-I и П-II не менее IP53 (5'3), в П-II и П-III – не менее IP23 (2'3).

При размещении в помещениях или наружных установках единичного пожароопасного оборудования, когда специальные меры против распространения пожара не предусмотрены, зона в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от этого оборудования является пожароопасной.

Щитки и выключатели осветительных сетей рекомендуется выносить из пожароопасных зон любого класса, если это не вызывает существенного удорожания и расхода цветных металлов.

Электроустановки запираемых складских помещений, в которых есть пожароопасные зоны любого класса, должны иметь аппараты для отключения извне силовых и осветительных сетей независимо от наличия отключающих аппаратов внутри помещений. Отключающие аппараты должны быть установлены в ящике из несгораемого материала с приспособлением для пломбирования на ограждающей конструкции из несгораемого материала, а при ее отсутствии – на отдельной опоре. Отключающие аппараты должны быть доступны для обслуживания в любое время суток.

Если в пожароопасной зоне любого класса по условиям производства необходимы электронагревательные приборы, то нагреваемые рабочие части их должны быть защищены от соприкосновения с горючими веществами, а сами приборы установлены на поверхности из негорючего материала. Для защиты от теплового излучения электронагревательных приборов необходимо устанавливать экраны из несгораемых материалов.

В пожароопасных зонах любого класса складских помещений, а также в зданиях архивов, музеев, галерей, библиотек (кроме специально предназначенных помещений, например буфетов) применение электронагревательных приборов запрещается.

В пожароопасных зонах любого класса кабели и провода должны иметь покров и оболочку из материалов, не распространяющих горение. Применение кабелей с горючей полиэтиленовой изоляцией не допускается.

Через пожароопасные зоны любого класса, а также на расстояниях менее 1 м по горизонтали и вертикали от пожароопасной зоны запрещается прокладывать не относящиеся к данному технологическому процессу (производству) транзитные электропроводки и кабельные линии всех напряжений.

В пожароопасных зонах любого класса применение неизолированных проводов запрещается.

В пожароопасных зонах любого класса разрешаются все виды прокладок кабелей и проводов. Расстояния от кабелей и изолированных

проводов, прокладываемых открыто непосредственно по конструкциям, на изоляторах, лотках, тросах и т. п. до мест открыто хранимых (размещаемых) горючих веществ, должно быть не менее 1 м. Прокладка незащищенных изолированных проводов с алюминиевыми жилами в пожароопасных зонах любого класса должна производиться в трубах и коробах.

Для передвижных электроприемников должны применяться гибкие кабели с медными жилами, с резиновой изоляцией, в оболочке, стойкой к окружающей среде.

Соединительные и ответвительные коробки, применяемые в электропроводах в пожароопасных зонах любого класса, должны иметь степень защиты оболочки не менее IP43. Они должны изготавливаться из стали или другого прочного материала, а их размеры должны обеспечивать удобство монтажа и надежность соединения проводов. Части коробок, выполненные из металла, должны иметь внутри изолирующую выкладку или надежную окраску. Пластмассовые части, кроме применяемых в групповой сети освещения, должны быть изготовлены из трудногорючей пластмассы.

В пожароопасных зонах классов П-I, П-II и П-IIa допускается применение шинопроводов до 1 кВ с медными и алюминиевыми шинами со степенью защиты IP20 и выше, при этом в пожароопасных зонах П-I и П-II все шины, в том числе и шины ответвления, должны быть изолированными. В шинопроводах со степенью защиты IP54 и выше шины допускается не изолировать. Неразборные контактные соединения шин должны быть выполнены сваркой, а разборные соединения – с применением приспособлений для предотвращения самоотвинчивания. Температура всех элементов шинопроводов, включая ответвительные коробки, устанавливаемые в пожароопасных зонах класса П-I, не должна превышать 60 °С.

Ответвительные коробки с коммутационными и защитными аппаратами, а также разъемные контактные соединения допускается применять в пожароопасных зонах всех классов. При этом ответвительные коробки, установленные на шинопроводах, включая места ввода кабелей (проводов) и места соприкосновения с шинопроводами, должны иметь степень защиты IP44 и выше для пожароопасных зон классов П-I и П-IIa, IP54 и выше для зон класса П-II. В помещениях архивов, музеев, картинных галерей, библиотек, а также в пожароопасных зонах складских помещений запрещается применение разъемных контактных соединений, за исключением соединений во временных сетях при показе экспозиций.

3.2. Защита аппаратов от превышения давления

Технологическое оборудование, в котором возможно аварийное повышение давления, представляет серьезную опасность при эксплуатации из-за разрушения под действием давления газов. Поэтому во всех случаях, когда в аппарате может быть превышено предельно допустимое давление, определяемое его прочностью, аппарат должен быть надежно защищен от разрушения с помощью различных предохранительных устройств (ПУ), работающих по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды. Источниками аварийного роста давления в аппаратах могут являться внезапные, не предусмотренные рабочим процессом случаи:

а) приток в аппарат газа, пара или жидкости при закрытом выходе из него;

б) обогрев или нарушение охлаждения аппарата, в результате чего происходит нагрев газа или пара, испарение жидкости в нем или интенсификация химической реакции;

в) взрыв среды в аппарате.

Причинами аварийного повышения давления могут являться:

а) ошибки обслуживающего персонала;

б) отказ запорно-регулирующей арматуры;

в) нарушение функционирования системы автоматического управления;

г) внезапное разрушение внутренних устройств аппарата: труб, змеевиков, рубашек и др.;

д) замерзание охлаждающей воды;

е) выход из-под контроля химических реакций;

ж) интенсивный нагрев поверхности аппарата от внешнего источника, например в результате пожара, солнечной радиации и т. п.

Для выбора предохранительного устройства необходимо знать величину аварийного притока среды и характер его изменения в зависимости от источника повышения давления.

Наиболее опасной аварийной ситуацией является та, при которой в аппарат поступает наибольшее количество среды или давление растет с максимальной скоростью. Выбор ПУ следует выполнять именно на такие экстремальные условия.

Под аварийным расходом m_a понимают массовый расход среды через ПУ при давлении, превышающем рабочее давление в аппарате на величину, определяемую Правилами Ростехнадзора России.

Аварийный расход среды m_a , кг/с, в различных случаях определяют следующим образом. При постоянной подаче рабочей среды в аппарат поршневыми компрессором и насосом в случае перекрытия выхода сре-

ды из аппарата аварийный расход равен массовой подаче компрессора или насоса

$$m_a = m_k; \quad m_a = m_H. \quad (3.1)$$

При внезапном разрушении элементов внутренних устройств с выходом среды из них в корпус аппарата, имеющего давление ниже, чем в разрушенных элементах, аварийный расход определяют как максимально возможный расход среды через максимально возможную площадь сечения разрушенного элемента (элементов). Он зависит от площади сечения разрушения F_a , давления P_{1a} и температуры t_{1a} в разрушенном элементе, рабочего давления в корпусе аппарата P_{2a} физико-химических свойств среды в разрушенном элементе (показателя адиабаты k_a , удельной газовой постоянной R_a , молярной массы M) и коэффициента расхода через отверстие разрушения α_a .

При отказе запорной арматуры и перетекании среды из полости более высокого давления в полость более низкого давления аварийный расход определяют аналогично предыдущему случаю, но при площади сечения и коэффициенте расхода полностью открытой арматуры. Расчетные формулы для определения аварийного расхода в этом случае те же, что и при определении пропускной способности ПУ.

При пожаре вблизи аппарата, заполненного жидкостью и имеющего закрытый выход, аварийный расход определяют по формуле

$$m_a = kF_{\text{ап}} \frac{(t_{\Gamma} - t_{\text{ж}})}{r}. \quad (3.2)$$

где $F_{\text{ап}}$ – площадь наружной поверхности аппарата, м^2 ;

t_{Γ} – температура газовой смеси, омывающей при пожаре наружную поверхность аппарата, (принимают $t_{\Gamma} = 600 \div 700$ °С);

$t_{\text{ж}}$ – температура кипения жидкости при давлении внутри аппарата;

r – теплота испарения жидкости при температуре $t_{\text{ж}}$, Дж/кг;

k – общий коэффициент теплопередачи от окружающей газовой смеси через стенку аппарата к содержащейся в нем жидкости, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$); для неизолированных неохлаждаемых аппаратов принимают $k = 25$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$); для изолированных и охлаждаемых аппаратов k определяют в зависимости от степени охлаждения, толщины и коэффициента теплопроводности изоляции.

Для аппаратов, имеющих специальное водное оросительное устройство, в числителе формулы (3.2) вводят понижающий коэффициент 0,5.

Избыточное давление для системы определенного объема зависит от интенсивности тепловыделения и теплового обогрева, а аварийный расход, т. е. количество рабочей среды, подлежащей сбросу в аварийном режиме, может быть различным в каждом конкретном случае. На-

пример, в аппаратах, где химические реакции протекают с выделением тепла и недостаточном его отводе вследствие нарушения системы охлаждения, а также при непредусмотренном технологическим процессом обогреве.

Для определения величины аварийного притока среды в случае выхода из-под контроля химических реакций или прорыва легкокипящих жидкостей необходимо знать динамику развития процессов. Во многих случаях наиболее опасной аварийной ситуацией является взрыв технологической среды внутри аппарата.

Основной характеристикой динамики развития взрыва является скорость роста давления $dp/d\tau$, которая зависит от физико-химических свойств взрывоопасной среды, степени ее турбулизации в аппарате, от объема и формы аппарата и других факторов. Аварийный расход в этом случае связан с соответствующей ему скоростью нарастания давления уравнением состояния:

$$m_a = \frac{MV}{R_y T_m} \cdot \frac{dp}{d\tau}, \quad (3.3)$$

где M – молярная масса технологической среды в аппарате, кг/кмоль;

V – емкость аппарата, м³;

R_y – универсальная газовая постоянная ($R_y = 8314$ Дж/(кмоль·К));

T_m – средняя абсолютная температура продуктов взрыва, К;

p – абсолютное давление, Па;

$dp/d\tau$ – скорость роста давления в аппарате при взрыве, Па/с.

Максимальную скорость роста давления в аппарате определяют по следующей формуле:

$$\frac{dp}{d\tau} = K_T \left(\frac{dp}{d\tau} \right)_0 \frac{p_p + 0,1}{0,1} \sqrt[3]{\frac{V_0}{V}}, \quad (3.4)$$

где K_T – коэффициент турбулизации фронта пламени, принимаемый по табл. П1 (см. Приложение);

$(dp/d\tau)_0$ – максимальная скорость роста давления в экспериментальной бомбе емкостью $V_0 = 0,01$ м³ при взрыве смеси технологической среды с воздухом, имеющей оптимальную концентрацию и содержащейся без начального избыточного давления при температуре 300 К. Значения $(dp/d\tau)_0$ для некоторых сред приведены в табл. П2 (см. Приложение);

p – рабочее давление технологической среды в аппарате до возникновения взрыва, МПа.

При отсутствии экспериментальных данных о скорости роста давления при взрыве величину $dp/d\tau$ определяют по формуле

$$\frac{dp}{d\tau} = K_T F_{\text{пл}} \frac{(p_p + 0,1) \cdot 10^6 u_{\text{пл}} (\varepsilon - 1)}{V} \left(\frac{p_1 + 0,1}{p_p + 0,1} \right)^{1/k}, \quad (3.5)$$

где $F_{\text{пл}}$ – максимально возможная площадь поверхности фронта пламени при сгорании смеси технологической среды с воздухом в аппарате, м²;

$u_{\text{пл}}$ – нормальная скорость распространения пламени в горючей среде, содержащейся в аппарате, м/с;

ε – степень относительного увеличения давления данной горючей среды в закрытой бомбе;

p_1 – избыточное давление технологической среды в аппарате при условиях срабатывания ПУ, МПа;

k – показатель изоэнтропы горючей смеси, принимаемый равным показателю изоэнтропы среды при нормальных условиях без учета влияния температуры при взрыве, т. е. k_n (см. табл. П4 Приложения).

Величину $F_{\text{пл}}$ определяют геометрическим путем из условия, что пламя распространяется сферически из точки инициирования взрыва. Наиболее опасной точкой инициирования взрыва в аппарате является геометрический центр его внутренней полости.

3.3. Расчет предохранительных устройств

В соответствии с требованиями Росгортехнадзора РФ для аппаратов, работающих под давлением пара или газа, число предохранительных устройств (ПУ), их размеры и пропускную способность выбирают таким образом, чтобы избыточное давление в аппарате p_1 при действии ПУ не превышало следующих допустимых значений:

p_p , МПа	$\leq 0,3$	от $> 0,3$ до $\leq 0,6$	$> 0,6$
p_1 , МПа	$p_p + 0,05$	$1,15 p_p$	$1,1 p_p$

В обоснованных случаях, например при резких колебаниях давления рабочей среды в защищаемой системе, допускается во время действия ПУ повышение давления в аппарате до 25 % от рабочего при условии, что это превышение давления предусмотрено проектом и отражено в паспорте аппарата.

Для аппаратов, работающих под давлением жидкости, превышение давления над избыточным рабочим при работе ПУ допускается не более чем на 0,1 МПа для рабочих давлений до 0,4 МПа включительно и на 25 % от p_p для более высоких рабочих давлений.

Кроме того, следует учитывать, что при допущении повышения давления в аппарате во время действия ПУ более чем на 10 % от p_p этот аппарат необходимо рассчитывать на прочность по давлению, равному 90 % от давления при полном открытии ПУ, но не менее, чем рабочее давление.

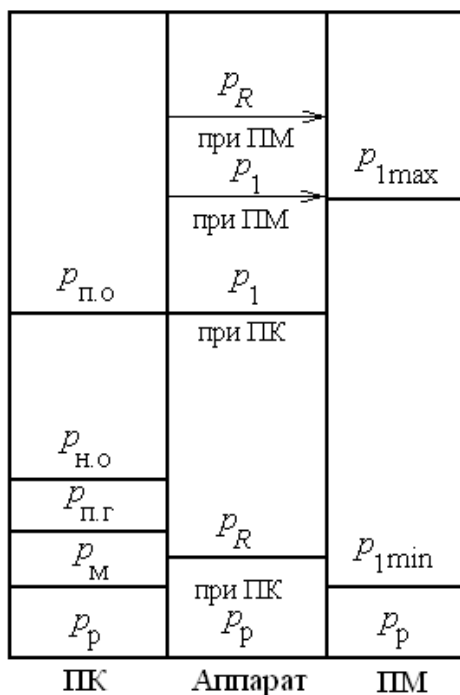


Рис. 3.1. Давление в аппарате при срабатывании предохранительных клапанов (ПК) или предохранительных мембран (ПМ)

Рабочее давление (p_p) – наибольшее избыточное давление в аппарате при нормальном протекании технологического процесса без учета допустимого кратковременного повышения давления во время действия ПУ.

Расчетное давление (p_R) – наименьшее избыточное давление, принятое при расчете на прочность элементов аппарата, работающего под давлением, равное рабочему давлению или превышающее его.

Максимально допустимое давление в аппарате (p_1) – максимальное избыточное давление в защищаемом ПУ аппарате, допускаемое официальными нормами при сбросе среды через ПУ.

Давление настройки (p_n) предохранительного клапана (ПК) – наибольшее избыточное давление на входе в ПК, при котором обеспечивается заданная герметичность в затворе. Давление p_n равно рабочему или превышает его, но не более чем на 25 % .

Давление потери герметичности ПК ($p_{п.г}$) – избыточное давление на входе в ПК, при котором начинается протечка, превышающая допустимую; значение $p_{п.г}$ несколько выше p_n .

Давление начала открытия ПК ($p_{н.о}$) – избыточное давление на входе в ПК, при котором сила, направленная на открытие клапана, уравновешена силами, удерживающими золотник на седле. При этом давлении заданная герметичность в затворе нарушена и начинается подъем золотника: $p_{н.о} \geq 1,05 p_p$.

Давление полного открытия ПК ($p_{п.о}$) – наименьшее избыточное давление на входе в ПК, при котором золотник клапана поднят на расчетную высоту, обеспечивающую заданную пропускную способность ПК.

Давление закрытия ПК (p_3) – избыточное давление на входе в ПК, при котором после сброса технологической среды происходит посадка золотника на седло с обеспечением заданной герметичности.

Давление срабатывания ПМ (p_1) – избыточное давление в аппарате на входе в ПМ, при котором происходит разрушение мембраны. Назначают минимальное и максимальное значения p_1 в зависимости от p_p и p_R в защищаемом аппарате. При этом минимальное значение $p_{1 \min}$ принимают не менее чем $1,05 p_p$ для исключения возможности ложных срабатываний ПМ, а максимальное $p_{1 \max}$ должно быть не больше $1,1 p_R$.

Противодавление (p_2) – максимальное избыточное давление за ПУ, равное статическому давлению в закрытой емкости, куда сбрасывается среда из ПУ, или атмосферному давлению при сбросе среды на свечу. В зависимости от давления перед ПУ и размеров сбросной системы в ней при работе ПУ может образоваться динамическое противодавление, которое прибавляется к статическому давлению p_2 .

Предохранительные устройства (ПУ) – вид арматуры, используемой для автоматического выпуска рабочей среды из аппарата при чрезмерном повышении давления в нем. Классификация ПУ показана на рис. 3.2.

По кратности использования ПУ подразделяют на две основные группы:

а) многократно используемые устройства – предохранительные клапаны с самодействующим замыкающим элементом;

б) устройства одноразового действия – предохранительные мембраны – специально ослабленные элементы с точно рассчитанным порогом разрушения по давлению.

В случае протекания через ПУ сжимаемой среды – газа или пара – необходимо учитывать изменение плотности среды при изоэнтальпийном изменении состояния.

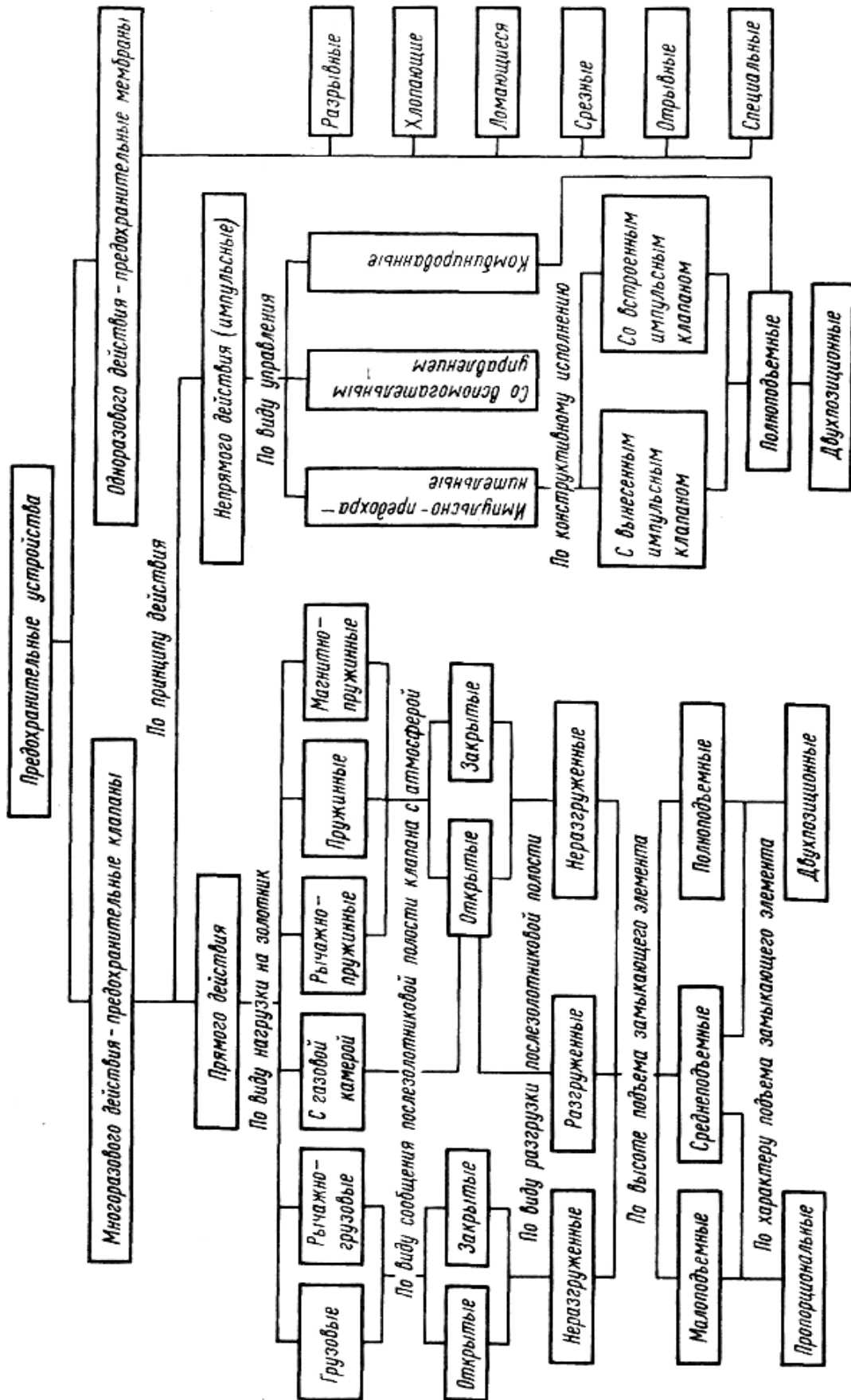


Рис. 3.2. Классификация предохранительных устройств

Уравнение пропускной способности предохранительного устройства для сжимаемой среды имеет вид

$$m = \alpha F q \varepsilon^* \sqrt{2 p_1 \rho_1}, \quad (3.6)$$

где q – коэффициент докритического расхода;

$$q = \frac{\varepsilon}{\varepsilon^*}. \quad (3.7)$$

Критическое истечение с постоянным максимальным расходом происходит при отношении давлений за и перед ПУ

$$\beta = \frac{p_2 + 0,1}{p_1 + 0,1} \leq \frac{p_2^* + 0,1}{p_1 + 0,1} = \beta^* ;$$

при этом $q = 1$.

Докритическое истечение, когда расход зависит от отношения давлений, происходит при

$$\beta = \frac{p_2 + 0,1}{p_1 + 0,1} > \beta^* .$$

Критическое отношение давлений β^* и максимальный коэффициент изоэнтропного расширения ε^* зависят от свойств среды и определяются уравнениями

$$\beta^* = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)} ; \quad (3.8)$$

$$\varepsilon^* = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{1/(k-1)} \left(\frac{k}{k+1} \right)^{1/2} = \left[\frac{k}{2} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{(k+1)/(k-1)} \right]^{1/2} . \quad (3.9)$$

Коэффициент расширения при докритическом течении ε зависит от свойств среды и отношения давлений:

$$\varepsilon = \left[\frac{k}{k-1} (\beta^{2/k} - \beta^{(k+1)/k}) \right]^{1/2} . \quad (3.10)$$

Формула (3.8) характеризует максимальный расход среды через сопло. При истечении среды из отверстия с острыми кромками, каковыми являются ПУ, максимальный расход устанавливается при меньшем отношении давлений. Для предохранительных клапанов установлено, что

$$\beta_{\text{кл}}^* \approx 0,57 \beta^* .$$

Следовательно, расчет максимального расхода через ПУ при

$$\beta_{\text{кл}}^* \leq \beta \leq \beta^*$$

завышает пропускную способность ПУ и снижает надежность защиты аппаратов.

При определении критического отношения давлений ПУ по этой формуле значение q должно определяться не по выражению (3.7), а по формуле

$$q = \left[1 - \left(\frac{\beta - \beta_{\text{кл}}^*}{1 - \beta_{\text{кл}}^*} \right) \right]^{1/2}; \quad (3.11)$$

при $\beta \leq \beta_{\text{кл}}^*$ и $q = 1$.

Формула (3.6) действительна для любой сжимаемой среды – газа или пара, если значения ρ берутся из таблиц или диаграмм состояния среды при p_1 и T_1 .

Для газа и перегретого пара с температурой, значительно большей температуры насыщения, удовлетворяется уравнение состояния идеального газа с учетом коэффициента сжимаемости z

$$z = \frac{Mp}{\rho RT}. \quad (3.12)$$

С учетом этих уравнений формула (3.6) преобразуется следующим образом:

$$m = \alpha F q \varepsilon^* p_1 \sqrt{\frac{2M}{z_1 R_y T_1}}. \quad (3.13)$$

При расчете β^* , ε^* , ε по формулам (3.8)–(3.10) изоэнтропный показатель расширения реального газа (k) определяют по формуле

$$k = - \left(\frac{v}{p} \right) \left(\frac{dp}{dv} \right); \quad (3.14)$$

в случае отсутствия данных принимают $k = k_{\text{н}}$ (при нормальных условиях: 0,1 МПа и 0 °С).

Более правильно определять значение k как среднее между значениями k_1 (при условиях перед ПУ) и k_2 (за ПУ): $k = 0,5(k_1 + k_2)$.

В соответствии с ГОСТ 12.2.085–82 пропускную способность ПУ в кг/ч рассчитывают по формулам:

а) для жидких технологических сред

$$m = 5,03\alpha_2 F \sqrt{(p_1 - p_2)\rho_1}; \quad (3.15)$$

б) для газов и паров

$$m = 10B_1B_2\alpha_1 F(p_1 + 1), \quad (3.16)$$

где F – площадь сечения седла ПК или площадь в свету разрушенной ПМ, мм²;

p_1 и p_2 – избыточные давления среды соответственно до и после предохранительного устройства при истечении, МПа;

B_1 и B_2 – коэффициенты, рассмотренные ниже.

Коэффициент B_1 учитывает физико-химические свойства газов и паров при параметрах среды перед клапаном: давлении p_1 и температуре T_1 .

Значения B_1 для водяного пара могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$B_1 = \frac{0,503B_3}{\sqrt{(p_1 + 0,1)v_1}}, \quad (3.17)$$

где B_3 – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при рабочих параметрах;

v_1 – удельный объем пара перед предохранительным устройством при истечении, м³/кг.

Значения B_3 определяют по таблицам ГОСТ 12.2.085–82 или для давления в МПа подсчитывают по формулам:

$$\text{при } \beta \leq \beta^* \quad B_3 = 1,59 \sqrt{\frac{k}{k+1}} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}; \quad (3.18)$$

$$\text{при } \beta \geq \beta^* \quad B_3 = 1,59 \sqrt{\frac{k}{k-1}} \sqrt{\beta^{\frac{2}{k}} - \beta^{\frac{k+1}{k}}}; \quad (3.19)$$

β^* – критическое отношение давлений $\left(\beta^* = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)} \right)$.

Значение B_3 при критическом отношении давлений, когда $B_3 = \varepsilon^*$, можно определить по рис. 3.3.

Значения B_1 для других газов и паров определяют по следующим формулам:

$$B_1 = 0,503B_3 \sqrt{\frac{\rho_1}{p_1 + 0,1}}; \quad B_1 = \frac{B_{1(z=1)}}{\sqrt{z_1}}, \quad (3.20)$$

где $B_{1(z=1)}$ – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при температуре T_1 и коэффициенте сжимаемости $z = 1$.

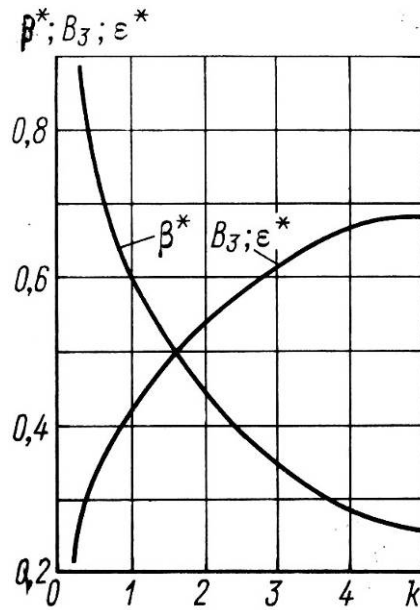


Рис. 3.3. График для определения коэффициентов B_z , ϵ^* и β^*

Коэффициент $B_{1(z=1)}$ рассчитывают по формуле

$$B_{1(z=1)} = 5,46B_2 \sqrt{\frac{M}{T_1}}. \quad (3.21)$$

Для некоторых газов его можно определить по рис. 3.4 или по таблицам ГОСТ 12.2.085–2002.

Температура T_1 при давлении p_1 несколько выше, чем при рабочем давлении p_p , и может быть определена по формуле

$$T_1 = T_p \left(\frac{p_1 + 0,1}{p_p + 0,1} \right)^{(k_H-1)/k_H}. \quad (3.22)$$

При этом следует учитывать, что определять температуру в зависимости от давлений следует не по k , а по k_H . При расчете по T_p пропускная способность ПУ завышается.

Плотность пара или реального газа $\rho_1 = 1/v_1$ для давления в МПа и R_y , Дж/(кг·К), определяют по таблицам или диаграммам состояния данной среды либо рассчитывают по формулам

$$\rho_1 = \frac{M(p_1 + 0,1)10^6}{zR_y T_1} \text{ или } \rho_1 = \frac{(p_1 + 0,1)10^6}{B_4 R_y T_1}, \quad (3.23)$$

где B_4 – определяют по табл. П25 Приложения (для идеального газа $B_4 = 1$).

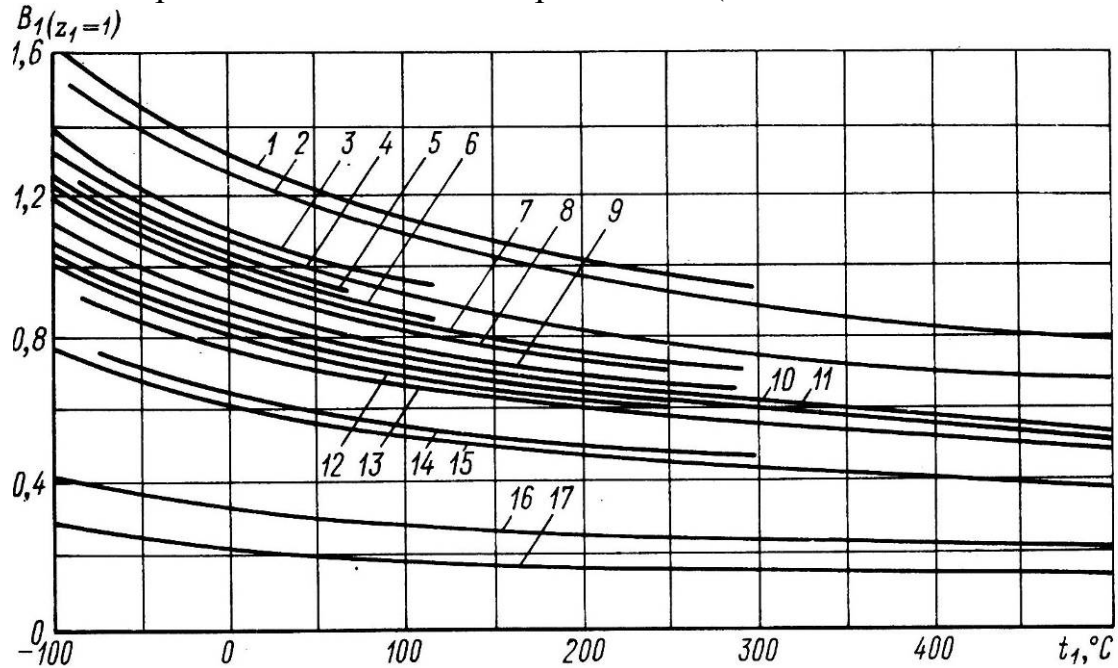


Рис. 3.4. Коэффициент $B_{1(z=1)}$ для идеальных газов:

1 – хлор; 2 – диоксид серы; 3 – бутан, аргон; 4 – озон, хлористый метил; 5 – диоксид углерода; 6 – метиловый эфир; 7 – пропан; 8 – хлористый водород; 9 – кислород, сероводород; 10 – азот, воздух; 11 – оксид углерода, этан; 12 – этилен; 13 – ацетилен, генераторный газ; 14 – аммиак; 15 – метан; 16 – гелий; 17 – водород

Расчет ПУ для всех газов и паров при $z = 1$, как это принято в РТМ 6-280-009–82, может в некоторых случаях привести к большим ошибкам в расчете, а на практике – к аварийному повышению давления при установке ПУ заниженного проходного сечения.

Коэффициент B_2 – коэффициент докритического расхода, учитывающий соотношение давлений за и перед ПУ; $B_2=q$ [см. формулу (3.7)]. При максимальном критическом расходе среды, т. е. при $\beta < \beta^*$, значение $B_2 = 1$.

В докритическом режиме истечения среды через ПУ $\beta > \beta^*$ коэффициент B_2 рассчитывают по формуле (3.7).

Показатель изоэнтропы расширения газа k обычно принимают при нормальных условиях ($k = k_n$), т. е. как для идеального газа. Однако для некоторых газов при определенных параметрах такой расчет может дать значительную погрешность, в том числе в сторону заниже-

ния проходного сечения требуемого ПУ. Поэтому правильнее пользоваться показателями изоэнтропы реального газа.

Пропускная способность ПУ должна быть равна аварийному расходу. Поэтому при определении размера необходимого проходного сечения ПУ F_R в уравнениях для определения расхода (m) подставляют вместо m аварийный расход m_a и находят одну из величин: произведение $(\alpha_1 F)_R$ или $(\alpha_2 F_1)_R$. Для предварительного определения F_R и d_R ориентировочные значения α_1 и α_2 принимают в зависимости от выбранного типа предохранительного клапана в соответствии с ГОСТ 12532–79.

Площадь определяющего сечения F (минимального прохода в седле полноподъемного ПК или отверстия ПМ) рассчитывают по формуле

$$F = 0,25\pi d^2.$$

В тех случаях, когда за определяющее сечение предохранительного клапана принята площадь щели,

$$F = \pi dh$$

и коэффициент расхода должен быть отнесен к площади щели.

Предохранительное устройство нужного диаметра подбирают по каталогу, стандарту или другой документации по величинам d и α .

Для защиты аппаратов, в которых аварийное увеличение давления возможно не только при отказе средств регулирования или повреждении внутренних устройств, но и в случае взрыва паров перерабатываемого продукта, целесообразно применять параллельную установку предохранительных мембран и клапанов.

При параллельной установке предохранительный клапан должен быть отрегулирован на меньшее давление срабатывания, чем предохранительная мембрана. Это исключит срабатывание мембраны во всех случаях, кроме взрыва в аппарате паров перерабатываемого продукта.

Более подробно методы расчета пропускной способности и проходного сечения ПУ изложены в ГОСТ 12.2.085–82.

Расчет выполняют, исходя из требований сброса через ПУ максимального аварийного расхода среды m_a . При этом должно быть выполнено условие: пропускная способность ПУ m должна быть не менее аварийного расхода, т. е.

$$m > m_a.$$

Пропускную способность ПУ, т. е. массовый расход, при несжимаемой среде (жидкости) рассчитывают по формуле

$$m = 5,03\alpha FB\sqrt{(p_1 - p_2)\rho_{1ж}}, \text{ кг/с}, \quad (3.24)$$

где α – коэффициент расхода ПУ, отнесенный к площади сечения F ; его определяют экспериментально, причем для ПК – при заданной высоте подъема золотника.

Для жидкости $B = 1$. Для газа или пара B является функцией показателя изэнтропы k и отношения давлений $\beta = (p_2 + 0,1)/(p_1 + 0,1)$.

В докритической области (при $\beta > \beta^*$) $B = \varepsilon / \sqrt{1 - \beta}$, где ε – соответствует уравнению (3.5).

В критической области (при $p = p^*$) $B = \varepsilon^* / \sqrt{1 - \beta^*}$, где ε^* – соответствует уравнению (3.9), а p^* – формуле (3.8).

В сверхкритической области (при $\beta < \beta^*$) $B = \varepsilon^* / \sqrt{1 - \beta}$.

Размеры выбранного ПУ, имеющего коэффициент расхода α , для заданного аварийного расхода m_a должны быть проверены по формуле Росгортехнадзора:

$$F_{R(\Gamma\Gamma\Gamma\Gamma)} = m_a [5,03\alpha B \sqrt{(p_1 - p_2)\rho_1}]^{-1}. \quad (3.25)$$

Считается, что ПК или ПМ выбраны правильно, если площадь F_b выбранного ПУ не менее $F_{R(\Gamma\Gamma\Gamma)}$, т. е. при $F_b \geq F_{R(\Gamma\Gamma\Gamma)}$; в противном случае следует по $F_{R(\Gamma\Gamma\Gamma)}$ выбрать новое ПУ большего размера с учетом α .

Методика наиболее подробного и точного расчета пропускной способности и элементов ПК с использованием ЭВМ изложена в отраслевых технических нормах РТМ 26-12-48-83.

4. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ АППАРАТОВ

4.1. Общие требования к герметичности аппаратов

Аппараты, содержащие взрывоопасные, пожароопасные и вредные вещества, должны быть герметичны по отношению к внешней среде. Основные характеристики взрыво- и пожароопасности веществ приведены в ГОСТ 12.1.005–88.

Согласно ГОСТ 12.1.007–76*, все вредные вещества в зависимости от их действия на организм человека разделены на четыре класса опасности:

- 1-й класс – вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й класс – вещества высоко опасные;
- 3-й класс – вещества умеренно опасные;
- 4-й класс – вещества малоопасные.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны по классам опасности приведены в ГОСТ 12.1.007–76.

4.2. Уплотнение валов аппаратов

Торцовые уплотнения (рис. 4.1) позволяют практически полностью предотвратить утечки рабочей среды из аппарата или попадание воздуха внутрь аппарата.

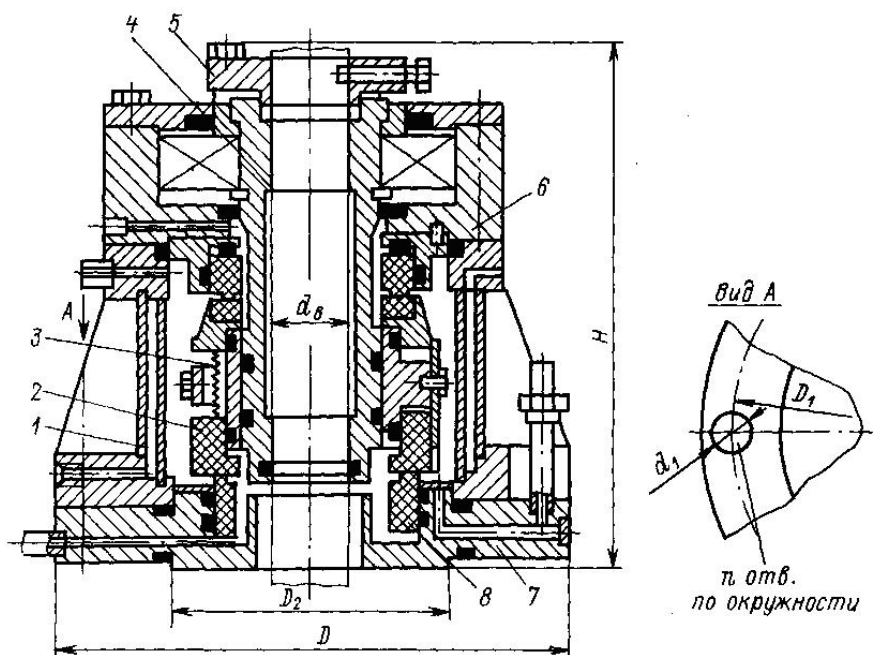


Рис. 4.1. Торцовое уплотнение типа Т4:

- 1 – корпус; 2 – подвижное кольцо; 3 – пружина; 4 – втулка;
5 – водило; 6 – крышка; 7 – неподвижное кольцо; 8 – уловитель

Для уплотнения валов вертикальных аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и вредные среды, наибольшее применение нашли торцовые уплотнения типа Т4.

Не рекомендуется применять уплотнения типа Т2 для аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и вредные среды при избыточном давлении. Уплотнения типа Т1 применяют в аппаратах, где требуется стерильность технологического процесса, например в биохимическом производстве.

Радиальное и угловое биения вала аппарата в зоне торцового уплотнения, а также смещения неподвижных деталей корпуса уплотнения относительно оси вала не должны превышать 0,2 мм и 0,25° соответственно.

Потери расчетной мощности на дополнительные осевые усилия и трение при наибольшей скорости вращения вала аппарата определяют по рис. 4.2.

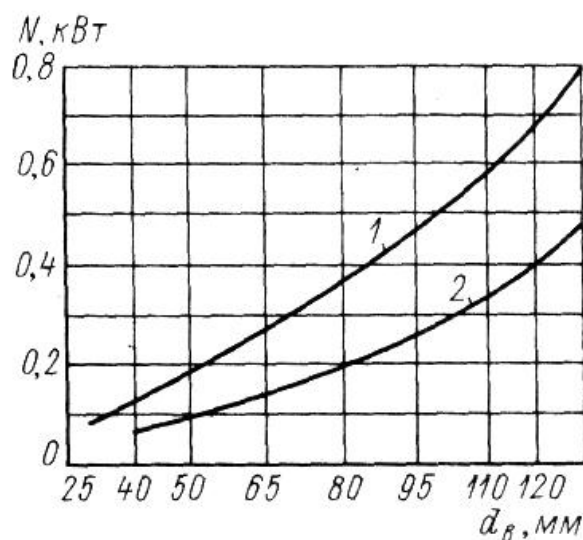


Рис. 4.2. Потери мощности на трение в торцовом уплотнении: 1 – уплотнения типов Т3, Т4, Т5, Т6, Т7 и Т8; 2 – уплотнения типов Т1 и Т2

Работоспособность торцовых уплотнений обеспечивается правильным выбором схемы подачи запирающей жидкости, которая одновременно обеспечивает охлаждение и смазку деталей уплотнения. Для уплотнений типов Т1 и Т2 допускается подача уплотняющей жидкости наливом без дополнительных устройств. Для двойных торцовых уплотнений типов Т3, Т4, Т5, Т6, Т7, Т8, Т9 должны применяться схемы с естественной или принудительной циркуляцией запирающей жидкости.

Схему обвязки с естественной циркуляцией запирающей жидкости (см. рис. 4.3, а) рекомендуется применять при работе уплотнения в следующих условиях: частота вращения вала до 5 с^{-1} ; температура рабочей среды в аппарате от -30 до $+150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Давление запирающей жидкости поддерживается за счет давления в аппарате, если среда не вредная и не взрывоопасная, или за счет подачи азота под давлением при взрывоопасной и токсичной среде. Запирающая жидкость циркулирует в замкнутом контуре вследствие разности плотностей нагретых и охлажденных слоев жидкости на разных уровнях. Для лучшей циркуляции холодильник и пневмогидроаккумулятор следует устанавливать в непосредственной близости от уплотнения на высоте не менее 2 м.

Схему обвязки с принудительной циркуляцией уплотняющей жидкости (рис. 4.3, б) рекомендуется применять при диаметре уплотняемого вала более 80 мм, частоте вращения не менее 5 с^{-1} и температуре рабочей среды в аппарате до $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Запирающая жидкость подается в уплотнение специальным насосом или централизованно из общей магистрали. Для сглаживания пульсаций давления и поддержания работоспособности уплотнения при кратковременных остановках насоса в схему обвязки включен ресивер.

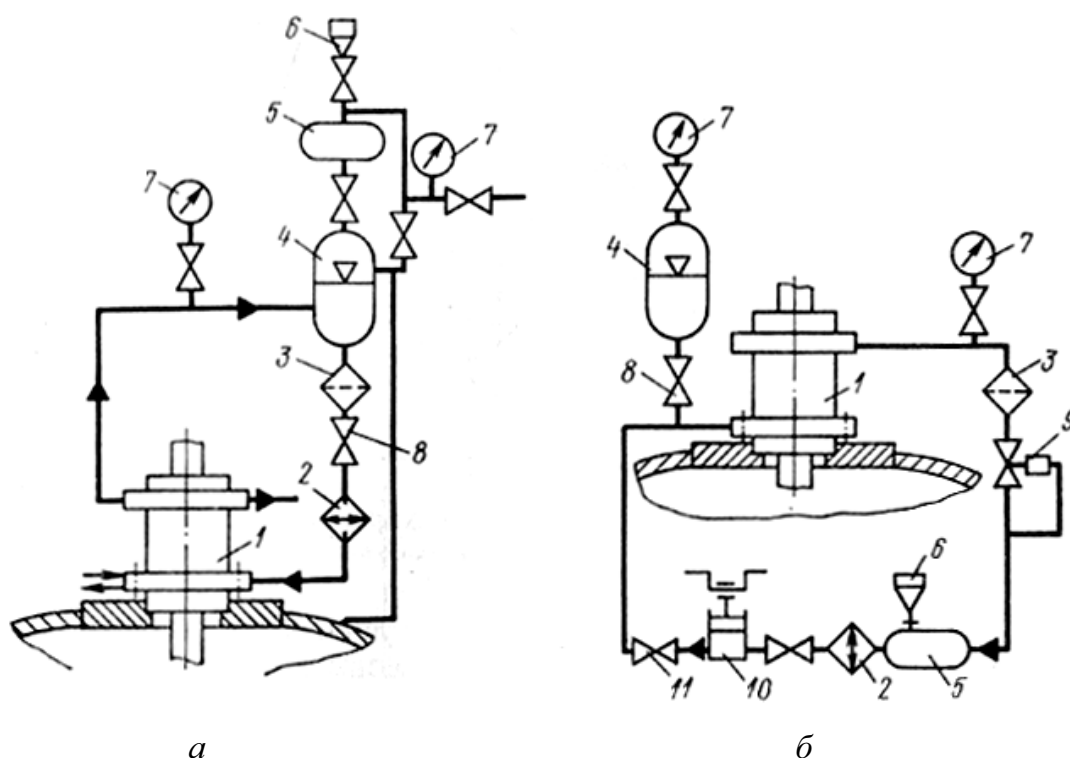


Рис. 4.3. Схемы обвязки торцовых уплотнений:

а – с естественной циркуляцией запирающей жидкости; б – с принудительной циркуляцией запирающей жидкости; 1 – камера торцового уплотнения; 2 – теплообменник; 3 – фильтр; 4 – пневмогидроаккумулятор; 5 – бак; 6 – воронка; 7 – манометры; 8 – запорная арматура; 9 – регулирующий клапан; 10 – насос; 11 – обратный клапан

В целях повышения надежности работы торцовых уплотнений при температуре среды в аппарате более 150 °С следует устанавливать дополнительное охлаждающее устройство (рис. 4.4).

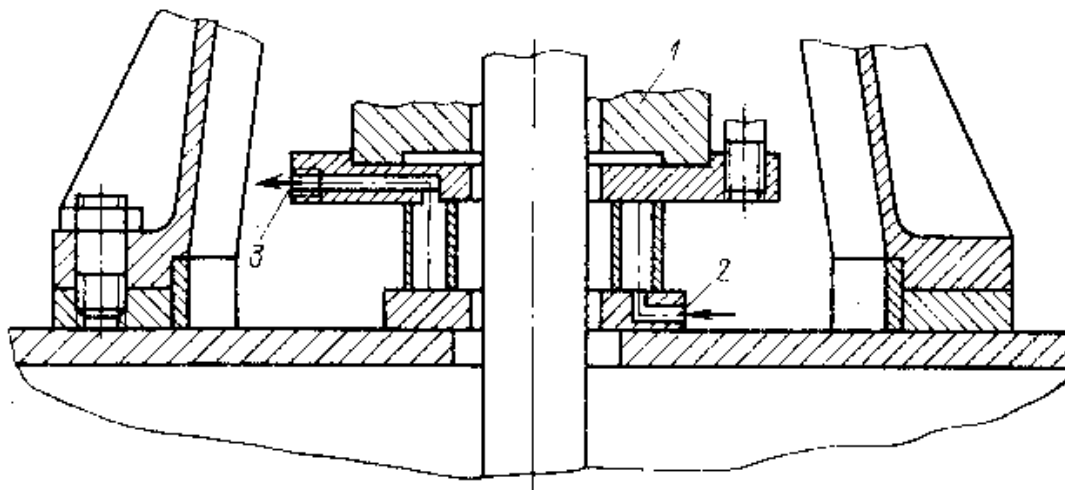


Рис. 4.4. Охлаждающее устройство:

1 – корпус торцового уплотнения; 2 – вход охлаждающей жидкости;
3 – выход охлаждающей жидкости

В качестве запирающей жидкости применяют обессоленную воду, масло или другие жидкости, химически совместимые с рабочей средой, но не вредные и не взрывоопасные. Температура запирающей жидкости на выходе из уплотнения типа Т1 не должна превышать 140 °С, для остальных типов – не более 80 °С. Давление запирающей жидкости должно быть выше давления среды в аппарате на 0,05–0,1 МПа.

Выпускаемые серийно НПО "СФЕРА" торцовые уплотнения типа Т1 (ТТ), Т2 (ТСК), Т3-6 (ТД-6), Т3-25 (ТД-25), Т4 (ТДП-25), Т5 (ТДФ), Т6 (ТДПФ), Т7 (ТДПФ-01), Т8 (ТДМ-16) и Т8 (ТДМ-32) используются для герметизации валов аппаратов диаметром от 25 до 150 мм с верхним и нижним расположением приводов, работающих при избыточном давлении до 2,5 МПа (25 кгс/см²) и остаточном давлении до 665Па (5 мм рт. ст.), температура рабочей среды в аппарате от 243 до 523 К (от -30 до +250оС), частота вращения вала до 1500 об/мин.

Выбор торцовых уплотнений производится по каталогу НПО "СФЕРА" (См. <http://www.sfera-ms.ru/index.htm>).

Сальниковые уплотнения (см. рис. 4.5) устанавливаются на аппараты, содержащие нейтральные среды или вещества, отнесенные к четвертому классу вредности. Применение сальниковых уплотнений для аппаратов, содержащих вредные вещества, отнесенные к первому – третьему классам опасности, допускается при условии наличия паров этих веществ над поверхностью жидкости в аппарате в количестве, не превышающем предельно допустимые концентрации. Применение сальниковых уплотнений для аппаратов, содержащих взрывоопасные вещества, не рекомендуется.

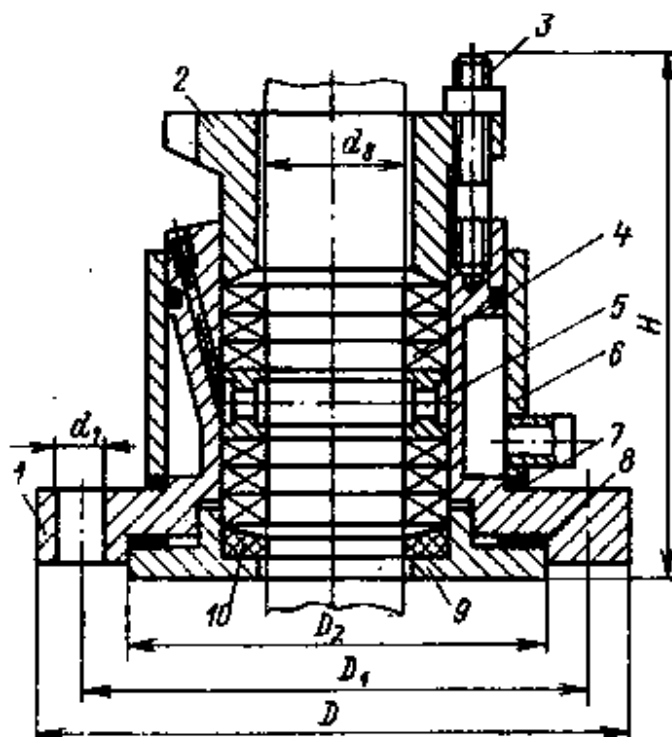


Рис. 4.5. Сальниковое уплотнение с охлаждением корпуса и подводом смазывающей или уплотняющей жидкости к валу:
 1 – корпус; 2 – нажимная втулка; 3 – шпилька с гайкой; 4 – набивка;
 5 – фонарь; 6 – рубашка; 7, 8 – прокладки; 9 – опорное кольцо; 10 – кольцо

5. ЗАЩИТА ОТ ТЕПЛОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Промышленная теплозащита в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.123–83 «Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений» достигается герметизацией оборудования, максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов с выводом работающих из «горячих зон» (дистанционное управление), оптимальным размещением оборудования и рабочих мест, автоматическим контролем и сигнализацией, применением средств коллективной и индивидуальной защиты.

Далее изложены методы расчета и проектирования теплоизоляции, теплозащитных экранов и воздушного душирования. Для защиты от теплового излучения и высоких температур воздуха применяются следующие коллективные теплозащитные средства: теплоизоляция поверхностей источников излучения теплоты; экранирование источников либо рабочих мест; воздушное душирование; радиационное охлаждение; мелкодисперсное распыление воды; общеобменная вентиляция или кондиционирование воздуха (рис. 5.1). Общеобменной вентиляции при этом отводится ограниченная роль – доведение условий труда до комфортных с минимальными эксплуатационными затратами.



Рис. 5.1. Классификация средств промышленной теплозащиты

Выбор теплозащитных средств в каждом отдельном случае должен осуществляться по максимальным значениям эффективности с учетом требований эргономики, технической эстетики, безопасности для дан-

ного процесса или вида работ и технико-экономического обоснования. Установленные в цехе теплозащитные средства должны быть простыми в изготовлении и монтаже, удобными для обслуживания; не затруднять осмотр, чистку, смазку агрегатов; обеспечивать полную гарантию безопасности работы; обладать необходимой прочностью; иметь минимальные эксплуатационные расходы.

Теплозащитные средства должны обеспечивать тепловую облученность на рабочих местах не более $0,350 \text{ кВт/м}^2$ и температуру поверхности оборудования не выше 308 К ($35 \text{ }^\circ\text{C}$) при температуре внутри источника теплоты до 373 К ($100 \text{ }^\circ\text{C}$) и не выше 318 К ($45 \text{ }^\circ\text{C}$) при температуре внутри источника теплоты выше 373 К .

5.1. Теплоизоляция поверхностей

Теплоизоляция горячих поверхностей (печей, сосудов и трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает как общее выделение теплоты, так и лучистую его часть. Кроме улучшения условий труда теплоизоляция уменьшает тепловые потери оборудования, снижает расходы топлива (электроэнергии, пара) и приводит к увеличению производительности агрегатов. Следует иметь в виду, что теплоизоляция, повышая рабочую температуру изолированных элементов, может резко сократить срок их службы. Решение о теплоизоляции должно быть проверено расчетом рабочей температуры изолированных элементов. Если она окажется выше предельно допустимой, защита от тепловых излучений должна осуществляться другими способами.

Ассортимент теплоизоляционных материалов разнообразен. Обычно для теплоизоляции применяются материалы, теплопроводность которых при температурах $50\text{--}100 \text{ }^\circ\text{C}$ меньше $0,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. При выборе материала для теплоизоляции необходимо принимать во внимание механические свойства материалов, а также их способность выдерживать высокую температуру. Если температура изолируемого объекта высокая, то обычно применяется многослойная изоляция: сначала ставится материал, выдерживающий высокую температуру (так называемый высокотемпературный слой), а затем уже более эффективный материал с точки зрения теплоизоляционных свойств. При этом толщина «высокотемпературного слоя» выбирается из тех условий, чтобы температура на его поверхности не превышала предельную температуру применения следующего слоя. В табл. 5.1 приведены значения теплопроводности и максимальной температуры различных теплоизоляционных материалов и конструкций.

Таблица 5.1

Теплофизические свойства
теплоизоляционных материалов

Материал	Объемная масса, м ³	Максимальная температура, °C	Значения коэффициентов в уравнении $\lambda = a + bT$, Вт/(м·К)	
			$c \cdot 10^{-1}$	$a \cdot 10^{-3}$
Алюминиевая фольга при толщине воздушных слоев 0,01 м	20–40	350	0,07	0,085
Асбест распущенный	250	220	0,3896	0,197
	340	–	0,215	0,24
	650	–	0,581	0,19
	800	700	0,781	0,19
Асбестовый матрац, заполненный: совелитом; стекловолокном; вермикулитом. Асбестовая ткань в несколько слоев	280	450	0,553	0,116
	200	450	0,07	0,21
	220	450	0,179	0,23
	500–600	450	0,579	0,255
Асбестовый картон	900	–	1136	0,17
Войлок: строительный; отеплительный	230	900	0,005	0,262
	200	100	0,003	0,186
	100	100	0,0033	0,19
Асбестовермикулитовые изделия (плиты, сегменты, скорлупы). Вермикулит вспученный в засыпке (зонолит)	250	600	0,179	0,23
	300	600	0,248	0,23
	350–380	750	0,4005	0,15
Диатомит молотый	400–500	800	0,146	0,28
Диатомитовые изделия (кирпич, скорлупы, сегменты)	400–500	800	0,146	0,28
	500	900	0,411	0,232
корундовые (алундовые); циркониевые; карборундовые (карбофакс); графитовые	2600	1700	15,713	1,9
	3300	1800	11,253	0,64
	2600	1500	18,27	10,0
	1600	2000	151,8	41,0
Кирпич: динасовый; магнезитовый; хромитовый; шамотный; пеношамотный	1950	1700	0,709	0,7
	2800	1700	4,186	1,7
	3100	1700	11,88	0,41
	1900	1450	6,672	0,6
	600 950	1150 1350	0,604 2,172	0,145 0,23

Окончание табл. 5.1

Минеральная вата в набивку под сетку	230	600	0,027	0,186
Минераловатные прошивные маты: на металлической сетке; на стеклоткани	200	600	0,027	0,186
	260	300	0,073	0,186
Перлит вспученный в засыпке.	180	900	0,263	0,116
Перлитовые изделия на керамической связке (плиты, сегменты, скорлупы)	250	900	0,189	0,186
	300	900	0,247	0,186
	350	900	0,363	0,186
	400	900	0,479	0,186
То же, на цементной связке	250	600	0,212	0,186
	300	600	0,247	0,186
	350	600	0,305	0,186
	400	600	8,363	0,186
Совелит	250	500	0,664	0,087
Совелитовые изделия (плиты, сегменты, скорлупы)	350	500	0,247	0,186
Торфоизделия	400	500	0,271	0,186
	275	100	0,226	0,151
	350	100	0,342	0,151

Конструктивно теплоизоляция может быть мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий и смешанной. Мастичная изоляция осуществляется путем нанесения на горячую поверхность изолируемого объекта изоляционной мастики. Мастичную изоляцию можно применять на объектах любой конфигурации. Оберточная изоляция изготавливается из волокнистых материалов – асбестовая ткань, минеральная вата, войлок и др. Наиболее пригодна оберточная изоляция для трубопроводов. Засыпную изоляцию используют в основном при прокладке трубопроводов в каналах и коробах там, где требуется большая толщина изоляционного слоя или при изготовлении теплоизоляционных панелей.

Теплоизоляцию штучными или формованными изделиями, скорлупами применяют для облегчения работ. Смешанная изоляция состоит из нескольких слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Наружный слой изготавливают из мастичной или оберточной изоляции. Целесообразно устраивать алюминиевые кожухи снаружи теплоизоляции. Затраты на устройство кожухов быстро окупаются вследствие уменьшения тепловых потерь на излучение и повышения долговечности изоляции под кожухом.

Исходными данными для расчета толщины теплоизоляции являются: температура сред (t' и t'') разделяемых теплоизоляционной перегородкой, допустимая температура на поверхности изоляции t_d и геометрические размеры теплоизолируемой поверхности (площадь поверхности F , m^2).

При расчете теплоизоляции следует придерживаться следующего порядка. Сначала устанавливают допустимые тепловые потери объекта при наличии изоляции. Затем выбирают материал изоляции и, задавшись температурой изолируемой поверхности, определяют значение теплопроводности $\lambda_{из}$ (см. табл. 5.1). Зная температуры на внутренней и внешней поверхностях изоляции и значение теплопроводности, определяют требуемую толщину изоляции. После этого производят поверочный расчет и определяют значения средней температуры изоляционного слоя и температуры на разделе поверхностей.

Тепловые потери Q в условиях стационарного теплового потока в многослойной плоской теплоизоляции

$$Q = \frac{(t' - t'')F}{\frac{1}{\alpha'} + \frac{1}{\alpha''} + \sum \frac{\delta_{изи}}{\lambda_i}}, \text{ Вт},$$

где α' и α'' – коэффициенты теплоотдачи от теплоносителя к стенке и от внешней поверхности изоляции к окружающей среде, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\delta_{изи}$ – толщина i -го слоя теплоизоляции, м;

λ_i – теплопроводность i -го слоя теплоизоляции, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

Температура t_m в стыке слоев $m - 1$ и m

$$t_m = t' - \frac{Q}{F} \left[\frac{1}{\alpha'} + \sum_{i=1}^m \left(\frac{\lambda_i}{\delta_{изи}} \right)^{-1} \right], \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для условий стационарного потока в цилиндрической теплоизоляции длиной $l_{ц}$ (м) из n слоев

$$Q = \frac{(t' - t'')l_{ц}}{\frac{1}{\alpha'\pi d_1} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right) + \frac{1}{\alpha''\pi d_{n+1}}}, \text{ Вт},$$

$$t_m = t' - \frac{Q}{l_{ц}} \left(\frac{1}{\alpha'\pi d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Здесь d_i – диаметр i -го слоя изоляции, м.

Определение коэффициентов теплоотдачи связано с рядом трудностей. При ориентировочных расчетах термическим сопротивлением теплоотдачи от горячей жидкости к стенке и самой стенки можно пренебречь. Тогда температуру изолируемой поверхности можно принять равной температуре горячей жидкости и теплообмен будет определяться только термическим сопротивлением изоляции и теплоотдачей от внешней поверхности изоляции к окружающей среде.

5.2. Теплозащитные экраны

Теплозащитные экраны применяют для локализации источников лучистой теплоты, уменьшения облученности на рабочих местах и снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглотительной и отражательной способностью. Кратность ослабления теплового потока m при установке n экранов со степенью черноты ϵ_s и пренебрежимо малыми термическими сопротивлениями

$$R_{\epsilon i} = \frac{\delta_{\epsilon i}}{\lambda_{\epsilon i}}$$

определяется по формуле

$$m = \frac{E_1}{E_2}; \quad m = \frac{\epsilon_{1,2}}{\epsilon_{1,3}}(n + 1),$$

где E_1 и E_2 – интенсивность теплового излучения на рабочем месте до и после установки экранов соответственно;

$\epsilon_{1,2}$ и $\epsilon_{1,3}$ – приведенная степень черноты соответственно источника и рабочего места и источника и экрана.

Эффективность установки теплозащитного экрана оценивается долей задержанной теплоты и определяется по формуле

$$\eta_s = \frac{E_1 - E_2}{E_1} = 100 \frac{m - 1}{m}, \%$$

Различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны. В свою очередь по степени прозрачности они делятся на три класса: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные. К первому классу относят металлические водоохлаждающие и футерованные асбестовые, альфалиевые, алюминиевые экраны. Ко второму – экраны из металлической сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой. Экраны первого и второго классов могут орошаться водяной пленкой. К третьему классу относят экраны из различ-

ных стекол: силикатного, кварцевого и органического бесцветного, окрашенного и металлизированного, пленочные водяные завесы, свободные и стекающие по стеклу, вододисперсные завесы.

Непрозрачные экраны. В качестве материалов для непрозрачных теплоотражающих экранов используют альфоль (алюминиевую фольгу), алюминий листовой, белую жечь, алюминиевую краску. Экран состоит из несущего каркаса, отражающей поверхности и деталей крепления к экранируемому оборудованию (рис. 5.2). Межэкранное пространство при установке нескольких простых одинарных экранов принимается обычно (по конструктивным соображениям) равным 20–25 мм. Уменьшение межэкранного пространства до 5 мм улучшает теплозащитные свойства экранов вследствие устранения конвективного теплообмена между слоями экрана. Теплоотражающие экраны для трубопроводов изготавливаются в виде квадратных коробов или полуцилиндрических скорлуп, оклеенных внутри альфолем. При температуре трубопровода выше 90 °С нужен двойной экран. Достоинством теплоотражающих экранов является высокая эффективность, малая масса, экономичность. Однако применение их ограничивается, так как они не выдерживают высоких температур и механических воздействий. Эффективность экранов ухудшается при отложении на них пыли, сажи и при окислении.

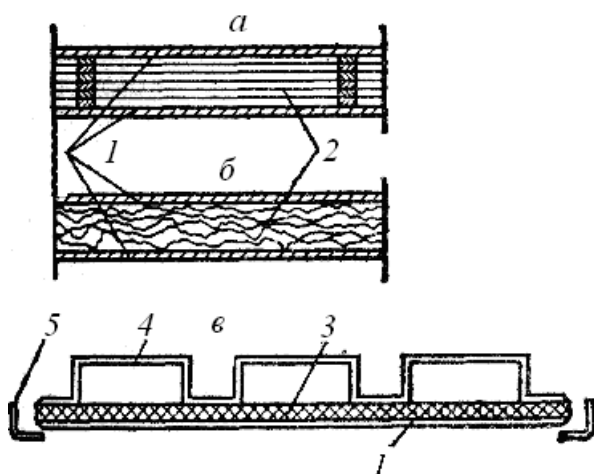


Рис. 5.2. Конструктивные схемы непрозрачных теплозащитных экранов: *a* – экран из альфоля, уложенного рядами в воздушных прослойках; *б* – экран из скомканного альфоля в воздушных прослойках; *в* – комбинированный; *1* – металлический лист; *2* – слой альфоля; *3* – слой из теплоизоляционного металла; *4* – профилированный алюминиевый лист; *5* – рамка

В качестве непрозрачных теплопоглощающих экранов используют металлические заслонки и щиты, футерованные огнеупорным или теплоизоляционным кирпичом, асбестовые щиты на металлической раме, сетке или листе и другие конструкции. Футерованные экраны могут

применяться при интенсивности облучения до 10 кВт/м^2 ; асбестовые до 3 кВт/м^2 . Эффективность футерованных экранов равна примерно 30 %; асбестовых – 60 %.

Непрозрачные экраны радиационного охлаждения – это сварные или литые (с замкнутым змеевиком) конструкции, охлаждаемые протекающей внутри водой (см. рис. 5.3). Их можно футеровать с одной стороны. Временные экраны можно изготовлять в виде металлических щитов, орошаемых водой. Футерованные теплоотводящие экраны могут применяться при любых встречающихся в практике интенсивностях облучения, нефутерованные – при интенсивностях $5\text{--}14 \text{ кВт/м}^2$, орошаемые щиты – при интенсивностях $0,7\text{--}3,5 \text{ кВт/м}^2$.

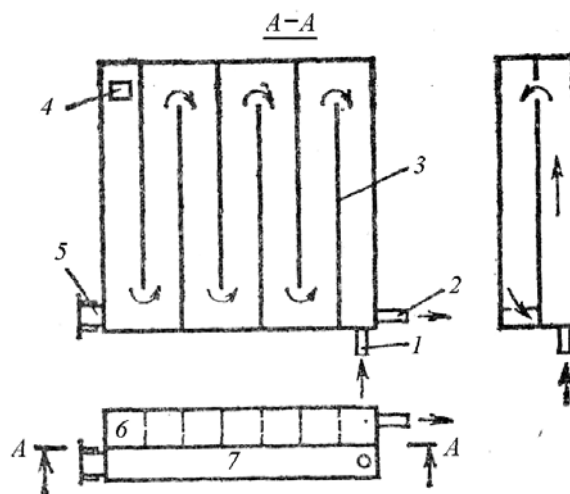


Рис. 5.3. Водоохлаждаемый экран для радиационного охлаждения и защиты от теплового облучения рабочих мест: 1 – подвод воды; 2 – сток воды; 3 – перегородки; 4 – переливное окно; 5 – труба с водой для промывки экрана; 6 – полость с перегородками; 7 – полость без перегородок

Полупрозрачные экраны. Их применяют в тех случаях, когда экран не должен препятствовать наблюдению или вводу через него инструмента, материалов. В качестве полупрозрачных теплопоглощающих экранов используют металлические сетки с размером ячейки $3\text{--}3,5 \text{ мкм}$, цепные завесы, армированное стальной сеткой стекло.

Металлические сетки применяют при интенсивностях облучения до $0,35\text{--}1,05 \text{ кВт/м}^2$. Эффективность экранов из сетки: один слой – 33–50, два слоя – 57–74 %.

Цепные завесы применяют при интенсивностях облучения $0,7\text{--}5 \text{ кВт/м}^2$. Эффективность цепной завесы около 70 %. Для повышения эффективности можно применять орошение завесы водяной пленкой и устраивать двойные экраны.

Армированное стальной сеткой стекло применяют для экранирования тех поверхностей кабин и пультов управления, которые должны пропускать видимый свет, но четкого различения объектов через них не требуется. Допустимая интенсивность облучения и эффективность экранов из армированного стекла такая же, как и у цепной завесы. Эффективность экрана может быть повышена орошением водяной пленкой и устройством двойного экрана.

Полупрозрачные теплоотводящие экраны выполняют в виде металлических сеток, орошаемых водяной пленкой, или паровой завесы. Эти экраны имеют коэффициент эффективности до 75 % и применяют при интенсивностях облучения 0,7–2,1 кВт/м².

Прозрачные экраны. Теплопоглощающие прозрачные экраны изготовляют из различных бесцветных или окрашенных стекол (силикатных, кварцевых, органических). Для повышения эффективности применяют двойное остекление с вентилируемой воздушной прослойкой.

Стекла всех теплозащитных экранов обладают спектральной селективностью, и поэтому их эффективность в большой степени зависит от спектрального состава излучения. При длине волны излучения более 5 мкм для защиты может быть использовано обычное оконное стекло толщиной 1 мм. При длине 2,8–5 мкм требуется бесцветное стекло толщиной 5 мм. При длине волны в диапазоне 0,78–2,8 мкм требуется применять теплозащитное стекло толщиной 5–6 мм.

Эффективность теплозащиты стекол зависит от температуры источника излучения теплоты (см. рис. 5.4). Наибольшую эффективность при температуре до 1100 °С имеет органическое стекло толщиной 6–8 мм. Выше этой температуры – закаленное стекло, окрашенное в массу, со светопропусканием 40 %. Данные об эффективности теплозащиты, приведенные на рис. 5.3, определены при условии периодически отсутствующего теплового потока (нестационарный процесс нагрева). Если тепловой поток действует на стекло постоянно, то эффективность теплозащиты снижается в среднем на 10 % по сравнению с периодически действующим потоком.

Расчет экранов. Температуру внутренней (обращенной к источнику) поверхности экрана $T_{э1}$ рассчитывают по формуле

$$T_{э1} = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{н,э} T_{н.п}^4 + T_{в}^4}{1 + \varepsilon_{н,э}}}, \text{ К}, \quad (5.1)$$

где $\varepsilon_{э,н}$ – приведенная степень черноты наружной поверхности источника и экрана;

$T_{н.п}$ – температура экранируемой поверхности источника, К;

$T_{в}$ – среднее значение температуры воздуха в рабочей зоне, К.

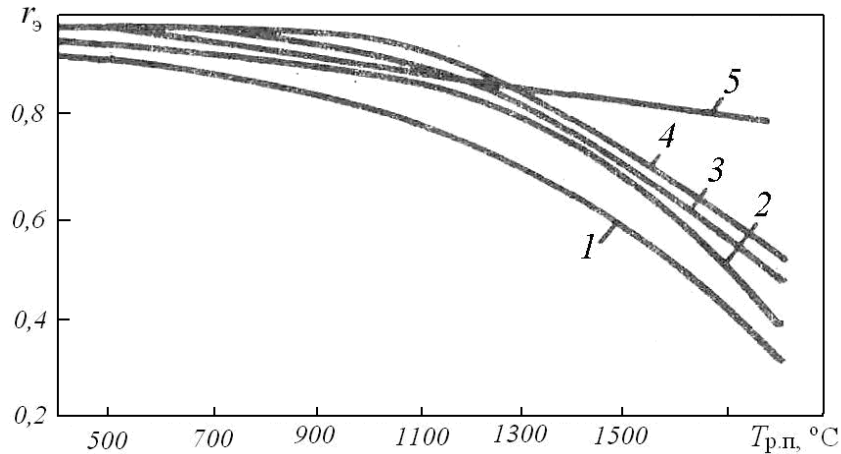


Рис. 5.4. Эффективность теплозащиты стекол r_3 в зависимости от температуры $T_{p.п}$ источника излучения (рабочего пространства печи): 1 – силикатного стекла; 2 – силикатного стекла со стальной сеткой; 3 – органического стекла; 4 – стекла с пленочным покрытием (светопропускание 80 %); 5 – закаленного окрашенного стекла (светопропускание 40 %)

Формула (5.1) справедлива при условии, что поступление теплоты на экран из цехового пространства мало и им можно пренебречь. При расчете температуры экрана необходимо обращать внимание на определение приведенной степени черноты, которая зависит от степени черноты каждого материала и может внести в формулу наибольшую ошибку. Применять формулу (5.1) для расчета температуры экрана можно только для металлических листов без теплоизоляции. Если металлические экраны будут использоваться с теплоизоляцией, то температура их наружной поверхности будет ниже.

Конструкция экрана должна обеспечивать свободный восходящий поток воздуха в межэкранном пространстве, чтобы максимально использовать охлаждающее действие конвективных потоков.

Температура наружной поверхности экрана, согласно требованиям ГОСТ 12.4.123–83, не должна превышать 45 °С (318 К). Исходя из этого условия, необходимое число экранов определяют по формуле

$$n = \frac{1 - \left(\frac{T_B}{T_{H.П}} \right)^4}{\left(\frac{T_{Э1}}{T_{H.П}} \right)^4 - \left(\frac{T_B}{T_{H.П}} \right)^4} \cdot \frac{\epsilon_{Э,В}}{\epsilon_{H,В}} - 1,$$

где $\epsilon_{Э,В}$ и $\epsilon_{H,В}$ – приведенная степень черноты соответственно экрана и рабочего места и источника и рабочего места.

Экранирование источника теплового излучения приводит к некоторому повышению температуры последнего вследствие отражательной способности экрана. Это повышение записывается эмпирической формулой

$$\Delta t = 2,1 t_{н,п}^{0,65},$$

где $t_{н,п}$ – температура неэкранированной поверхности, °С.

Расход воды на охлаждение теплоотводящих экранов определяется из теплового баланса экрана

$$G = 0,93 \cdot 10^{-8} \frac{c_0 \epsilon_{н,в} (T_{н,п}^4 - T_э^4) F}{t_{вх} - t_{вых}},$$

где 0,93 – коэффициент, учитывающий неполноту поглощения падающего на экран теплового излучения;

$T_э$ – температура поверхности экрана, К;

$t_{вх}$ и $t_{вых}$ – температура входящей и выходящей воды, °С.

Температура входящей воды не должна превышать 35–50 °С (в зависимости от жесткости).

Конструктивная схема экрана и место его установки определяются технологическим процессом. Лучшими являются экраны, которые составляют часть конструкции агрегата.

5.3. Воздушное душирование

При воздействии на работающего теплового облучения интенсивностью 0,35 кВт/м² и более, а также 0,175–0,35 кВт/м² при площади излучающих поверхностей в пределах рабочего места более 0,2 м² применяют воздушное душирование (подача приточного воздуха в виде воздушной струи, направленной на рабочее место). При интенсивности облучения свыше 2,1 кВт/м² воздушный душ не может обеспечить необходимого охлаждения. В этом случае следует по возможности уменьшить облучение, предусматривая теплоизоляцию, экранирование и другие мероприятия, или проектировать устройства для периодического охлаждения рабочих (радиационные кабины, комнаты отдыха). Воздушное душирование устраивается также и при производственных процессах с выделением вредных газов или паров, если невозможно применение местных укрытий и отсосов.

Воздушное душирование устраивают для мест длительного пребывания рабочего, а также в местах кратковременного отдыха.

Охлаждающий эффект воздушного душирования зависит от разности температур тела работающего и потока воздуха, а также от скорости обтекания воздухом охлаждаемого тела.

Для обеспечения на рабочем месте заданных температур и скоростей воздуха ось воздушного потока направляют на грудь человека горизонтально или под углом 45° , а для обеспечения допустимых концентраций вредных веществ ее направляют в зону дыхания горизонтально или сверху под углом 45° .

Поток воздуха на выходе из душирующего патрубка должен иметь равномерную скорость и одинаковую температуру. Расстояние от кромки душирующего патрубка до рабочего места должно быть не менее 1 м. Минимальный диаметр патрубка принимают равным 0,3 м. При фиксированных рабочих местах расчетную ширину рабочей площадки принимают равной 1 м.

При душировании фиксированных рабочих мест наружным или охлажденным внутренним воздухом следует применять цилиндрические насадки или поворотные душирующие патрубки.

5.4. Оборудование мест отдыха

Для ускоренного восстановления физиологических показателей всех работающих в горячих цехах устраивают специально оборудованные места отдыха. Для рабочих основных профессий горячих цехов (литейных, кузнечно-прессовых и термических) следует устанавливать стационарные комнаты отдыха. Для ремонтных рабочих, обслуживающих металлургические агрегаты (печи, регенераторы, ковши), устраивают переносные комнаты. В стационарной комнате отдыха следует предусматривать радиационное охлаждение посредством автоматической фреоновой холодильной установки, кондиционирование воздуха, звукоизоляцию стен и потолка. Переносная комната отдыха должна иметь радиационное охлаждение стен, осуществляемое мелкодисперсным охлаждением воды. В ней должен быть и осевой вентилятор. Включать установку мелкодисперсного распыления воды и вентиляторы следует только в период нахождения в ней работающих.

Место отдыха в горячих цехах отделяется от цеха стеклоблоками; для него отводится площадь 2×3 м высотой 2,3 м. Для устранения воздушной тепловой подушки в перекрытии следует выполнять естественную вытяжку, которая обеспечит необходимую подвижность воздуха в помещении для отдыха и снизит температуру под потолком на $5-7^\circ\text{C}$. На рис. 5.5 показана организация места отдыха у питьевой точки с радиационным охлаждением.

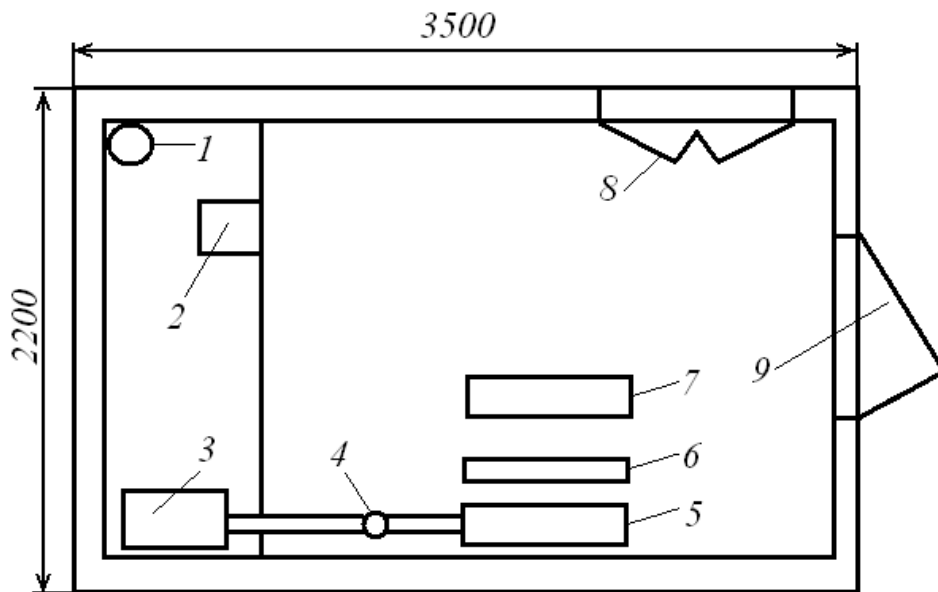


Рис. 5.5. Место отдыха с радиационным охлаждением и окном: 1 – баллон суглекислым газом; 2 – сатуратор; 3 – бачок для охлаждения воды; 4 – фонтанчик; 5 – панель радиационного охлаждения; 6 – скамья; 7 – стол; 8 – окно; 9 – дверь

6. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

Производственное оборудование, являющееся источником общей технологической вибрации в цехах машиностроительных заводов, делится на машины, развивающие периодические динамические нагрузки, и машины создающие импульсные (ударные) нагрузки. Машины, развивающие периодические нагрузки, подразделяются :

– на машины с конструктивно неуравновешенными движущимися частями (машины с кривошипно-шатунными и кривошипно-кулисными механизмами: поршневые компрессоры, металлообрабатывающие строгальные, плоскошлифовальные и другие подобные станки; дробилки, вибрационные центрифуги);

– на машины с конструктивно уравновешенными движущимися частями (центрифуги, грохоты нормально уравновешенные, металлообрабатывающие токарные, сверлильные, круглошлифовальные и другие станки с вращающимися шпинделями и абразивными кругами, вентиляторы, электроприводы и т. п.).

Машины, в которых основной причиной возникновения нагрузок является движение обрабатываемого материала (галтовочные автоматы, мельницы и т. п.), составляют отдельную группу машин, генерирующих случайную нагрузку.

Средства защиты от общей вибрации должны применяться в тех случаях, когда фактические значения ее гигиенических характеристик, в качестве которых ГОСТ 12.1.012–78 и СН 3044–84 установлены вибросторожность и виброускорение рабочего места, превышают допустимые значения.

6.1. Определение размеров зоны вибрационной опасности

Оценку ожидаемой амплитуды виброперемещения (Am_r) при распространении вибрации по грунту от фундаментов машин – источников вибрации на произвольное расстояние r осуществляют по формуле

$$Am_r = Am_{гр} \left[\frac{1}{\delta[1 + (\delta - 1)^2]} + \frac{\delta^2 - 1}{(\delta^2 + 1)\sqrt{3\delta}} \right], \quad (6.1)$$

где $Am_{гр}$ – амплитуда виброперемещения грунта под фундаментом машин – источников вибрации;

$\delta = r/r_0$;

r_0 – приведенный радиус подошвы фундамента машины;

S – площадь подошвы фундамента.

Амплитуду $Am_{гр}$ принимают равной амплитуде виброперемещения $Am_{ф}$ фундамента, которую определяют экспериментально, или для не-виброизолированных систем – по формулам:

$$Am_{ф} = \frac{F_{mz}}{k_z - m_S \omega^2},$$

$$k_z = G_z S;$$

$$G_z = B_0 E_0 \sqrt{1 + \frac{S}{S_0}},$$

где F_{mz} – вертикальная составляющая амплитуды вынуждающей силы;

m_S – суммарная масса машины и ее фундамента;

ω – угловая частота колебаний машины;

k_z – коэффициент жесткости системы или просто жесткость системы «машина – фундамент – основание (грунт)» в вертикальном направлении, Н/м;

G_z – коэффициент упругого равномерного сжатия грунта, Н/м³;

S – площадь подошвы фундамента машины, м²;

B_0 – коэффициент, зависящий от типа грунта и изменяющийся в пределах от 1 до 1,5;

E_0 – модуль деформации грунта, определяемый по СНиП 2.02.01–83, Н/м³;

$S_0=10$ м².

Аналитическая зависимость между амплитудой виброскорости v_{mr} (виброускорения w_{mr}) грунта под фундаментом машины – источника вибрации, принимаемой равной амплитуде колебаний фундамента машины, и амплитудой виброскорости (виброускорения) на расстоянии r от фундамента аналогична зависимости (6.1). Таким образом, зная значение характеристик вибрации грунта под фундаментом и используя формулу (6.1), можно рассчитать допустимое расстояние, при котором колебания грунта вызывают колебания фундамента, а, следовательно, и рабочих мест с уровнями, не превышающими значений, установленных действующими нормами. Для этого удобно использовать построенные на базе зависимости (6.1) графики (см. рис. 6.1).

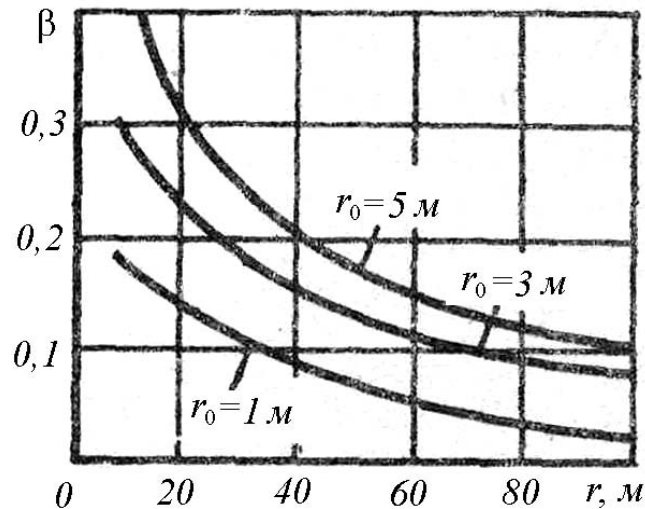


Рис. 6.1. График для определения размера зоны безопасности по фактору вибрации (β – степень ослабления вибрации)

$$\beta = v_{\text{норм}} \frac{\sqrt{2}}{v_{mr}} = w_{\text{норм}} \frac{\sqrt{2}}{mr}$$

6.2. Классификация методов и средств защиты от вибрации

Классификация средств и методов защиты от вибрации определяется ГОСТ 26568–85. Средства защиты от вибрации делятся на коллективные и индивидуальные. Средства коллективной защиты, в свою очередь, делятся на средства, воздействующие на источник возбуждения, и средства защиты от вибрации на путях ее распространения.

К первым относятся такие средства защиты, как широко распространенные динамическое уравнивание, антифазная синхронизация, изменение характера возмущающих воздействий, изменение конструктивных элементов источника возбуждения, изменение частоты колебаний. Они используются, как правило, на этапе проектирования или изготовления машины.

Средства защиты от вибрации на путях ее распространения (см. рис. 6.2) могут быть заложены в проекты машин и производственных участков, а могут быть применены на этапе их эксплуатации.

Ниже рассмотрены вопросы проектирования виброизоляции средств, вибродемпфирования и динамического виброгашения.

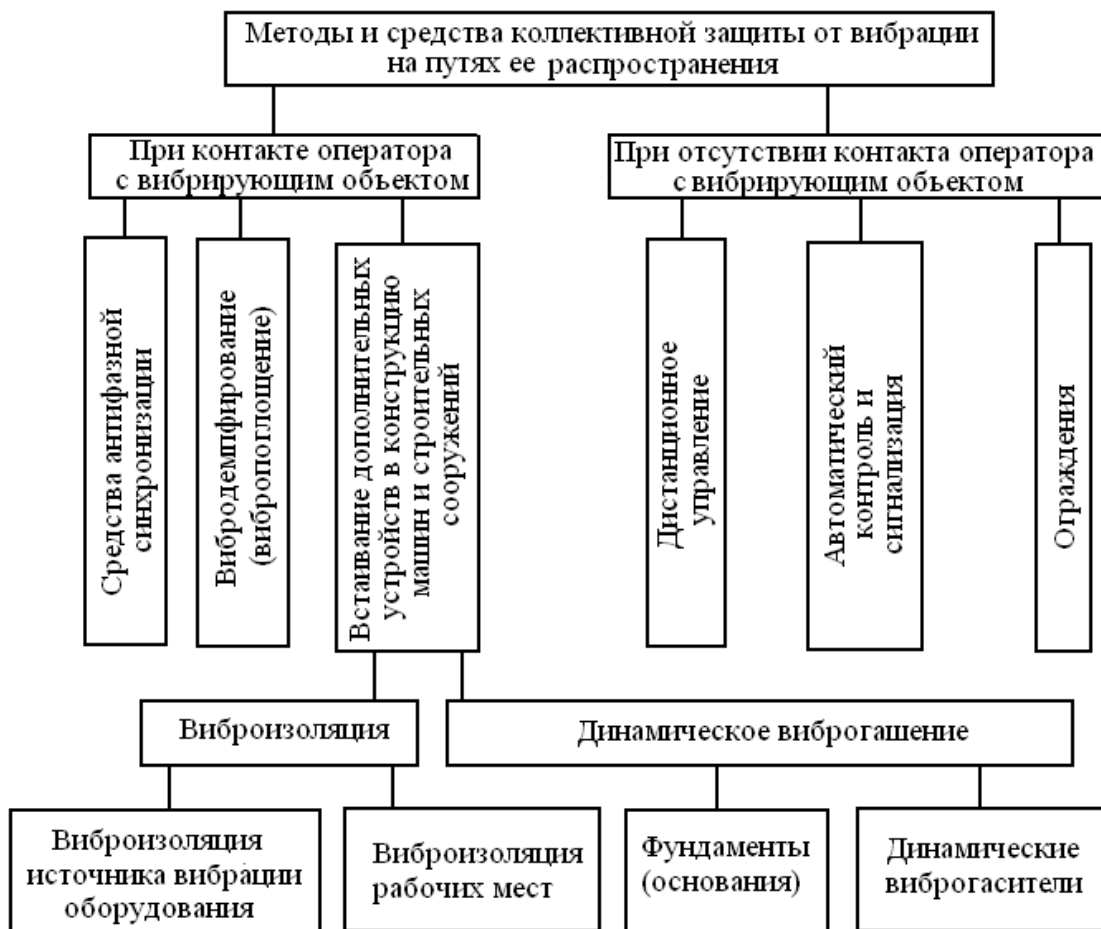


Рис. 6.2. Классификация методов и средств защиты от вибрации

6.3. Виброизоляция стационарного технологического оборудования

Проектирование виброизоляции машин и оборудования производится по руководству ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. Оно включает методики расчета: виброизоляции машин с периодической возмущающей нагрузкой; виброизоляции фундаментов под ковочные и штамповочные молоты; систем виброизоляции технологического оборудования для снижения передачи на него колебаний основания, вызываемых расположенным рядом виброактивным оборудованием.

Ниже приведена методика расчета наиболее распространенных опорных систем виброизоляции роторных машин (вентиляторов, компрессоров, насосов, воздуходувок, центрифуг) и оборудования, имеющего рабочее колесо и (или) вал, создающих при вращении неуравновешенную гармоническую центробежную силу (см. рис. 6.3).

Цель расчета систем виброизоляции – определение числа и типа стандартных виброизоляторов или числа и параметров пружин (упругих

прокладок) для снижения уровня вибрации на рабочих местах до требований норм ГОСТ 12.1.012–90.

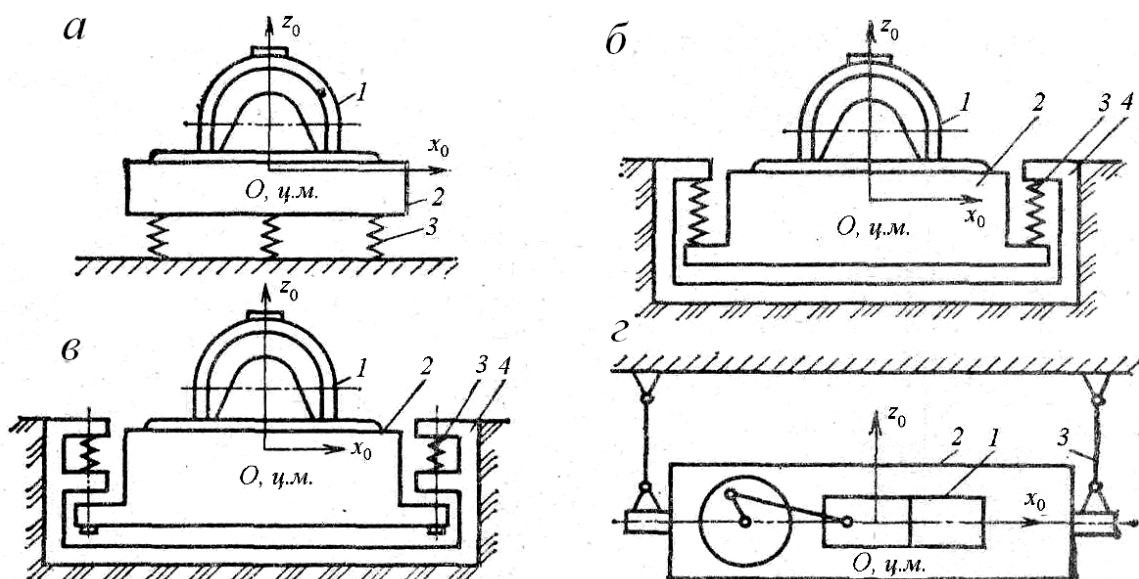


Рис. 6.3. Схемы систем виброизоляции машин:

а – опорный вариант; *б* – подвесной вариант с пружинами, работающими на растяжение; *в* – вариант с подвесными стержнями и пружинами, работающими на сжатие; *г* – подвесной вариант с шарнирными стержнями; 1 – машина; 2 – постамент; 3 – виброизоляторы; 4 – подфундаментный короб (корыто)

Исходные данные к расчету: масса t и моменты инерции оборудования $I_{обx}$, $I_{обy}$, $I_{обz}$ относительно осей X , Y , Z , проходящих через его центр масс (тяжести); габаритные размеры оборудования, размеры фундаментного блока $a_{ф}$, $b_{ф}$, $c_{ф}$ и его масса M (если он предусмотрен); число оборотов привода $n_{пр}$, неуравновешенная центробежная сила F , приложенная к центру масс рабочего колеса; расстояние от опорной поверхности машины до центра масс системы p и от центра масс системы до оси рабочего вала $a_{в}$; расстояния центра масс виброизолированной машины (Ц. М. В.) от оси рабочего колеса (вала) по вертикали $h_{в}$ и координаты e и f этого центра по горизонтальным осям в выбранной системе координат X_1 , Y_1 , Z_1 , проходящей через середину основания опорной плиты (см. рис. 6.4); нормативное значение амплитуды виброперемещения $A_{норм}$ рабочего места на рабочем режиме установки по ГОСТ 12.1.012–78 (согласно Приложению 6 данного ГОСТа для гармонических колебаний могут задаваться амплитуды виброперемещения); допустимая по технологическим нормам амплитуда колебаний рабочего вала $A_{мв}$; скорость убывания ϵ частоты возмущения в режиме останова виброизолированной машины (для пружинных виброизоляторов).

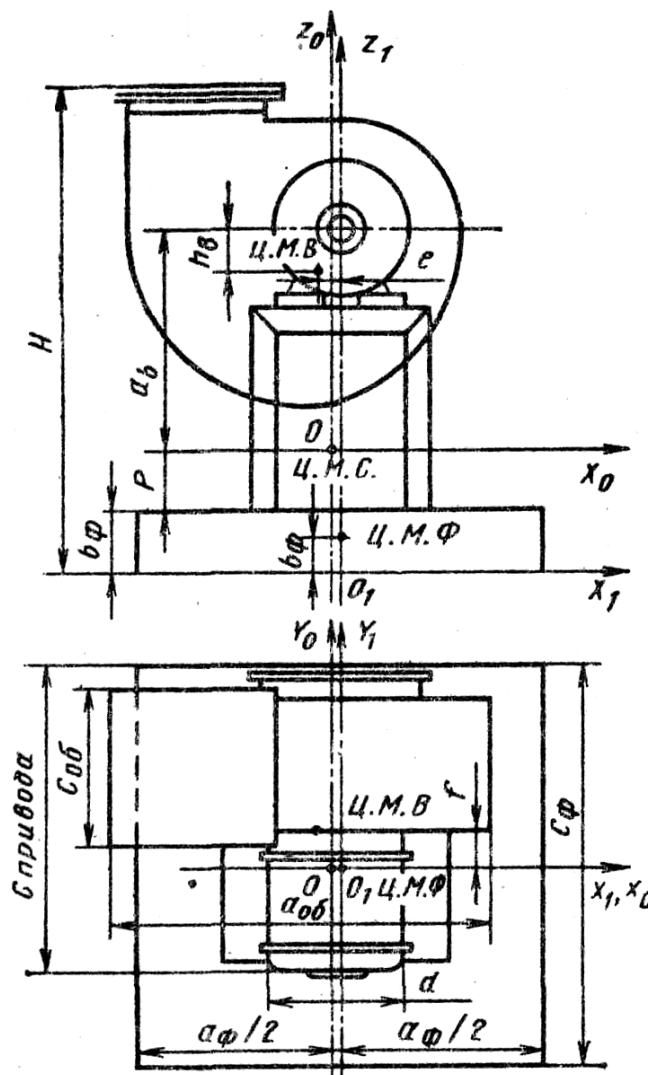


Рис. 6.4. Схема виброизолированного агрегата (на примере вентилятора)

Расчет осуществляется в следующем порядке.

1. Выбирают расположение виброизоляторов.

Наиболее распространенной является схема установки машин с динамическими нагрузками на систему виброизоляторов, представленная на рис. 6.5. В этом случае центры масс виброизолированной системы O и опорной плиты (постамент) O_1 находятся в одной вертикальной плоскости, которая перпендикулярна рабочему валу, но располагаются на разных вертикалях. Виброизоляторы устанавливаются симметрично главным осям инерции установки. Это обеспечивает расположение на одной вертикали центра масс виброизолированной установки и центра жесткости виброизоляторов; расчет угловых частот собственных поступательных и вращательных колебаний установки значительно упрощается.

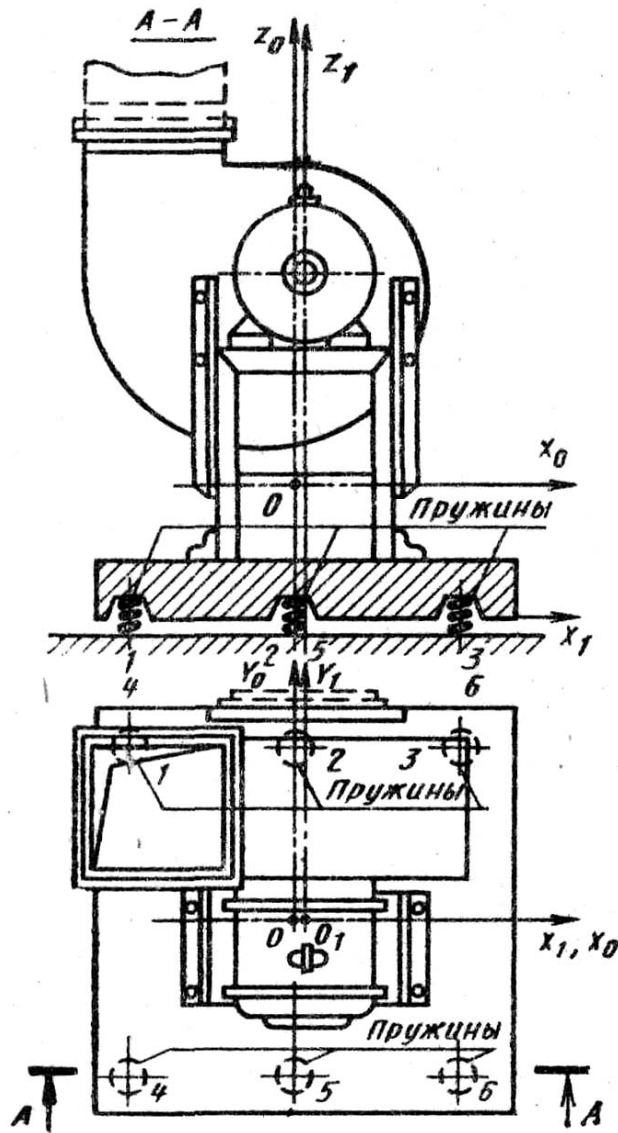


Рис. 6.5. Схема расположения пружинных виброизоляторов

2. Определяют координаты x_0, y_0, z_0 центра масс системы (Ц. М. С.) «машина с динамическими нагрузками – опорная плита» относительно координатных осей X_1, Y_1, Z_1 , имеющих начало посередине основания плиты:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{1}{m+M} \sum_{i=1}^n m_i x_i; \\ y_0 = \frac{1}{m+M} \sum_{i=1}^n m_i y_i; \\ z_0 = \frac{1}{m+M} \sum_{i=1}^n m_i z_i, \end{cases} \quad (6.2)$$

где m – масса i -й составляющей виброизолированной системы;

x_i, y_i, z_i – координаты центра масс i -й составляющей в системе координат X_1, Y_1, Z_1 ;

n – число составляющих системы.

3. По полученным значениям координат центра масс виброизолированной системы определяют ее моменты инерции ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$) относительно осей X_0, Y_0, Z_0 , проходящих через центр масс агрегата (Ц. М. В.).

В общем случае

$$I_{0x} = \sum [I_{xi} + m_i(y_{0i}^2 + z_{0i}^2)];$$

$$I_{0y} = \sum [I_{yi} + m_i(z_{0i}^2 + x_{0i}^2)];$$

$$I_{0z} = \sum [I_{zi} + m_i(x_{0i}^2 + y_{0i}^2)],$$

где I_{xi}, I_{yi}, I_{zi} – моменты инерции i -го элемента относительно осей, проходящих через его центр масс параллельно осям X_0, Y_0, Z_0 ;

x_{0i}, y_{0i}, z_{0i} – координаты центра масс i -го элемента в той же системе координат.

В рассматриваемом случае (см. рис. 6.4) система уравнений (6.2) имеет вид

$$I_{0x} = I_{0\text{об}x} + m[y_{\text{ц.м.об}}^2 + (z_{\text{ц.м.об}} - z_0)^2] + I_{\text{ф}x} + M(z_0 - z_{\text{ц.м.ф}})^2;$$

$$I_{0y} = I_{0\text{об}y} + m[(z_{\text{ц.м.об}} - z_0)^2 + (x_{\text{ц.м.об}} - x_0)^2] + I_{\text{ф}y} + M[(z_0 - z_{\text{ц.м.ф}})^2 + x_0^2];$$

$$I_{0z} = I_{0\text{об}z} + m[(x_{\text{ц.м.об}} - x_0)^2 + y_{\text{ц.м.об}}^2] + I_{\text{ф}z} + Mx_0^2,$$

где $x_{\text{ц.м.об}}, y_{\text{ц.м.об}}, z_{\text{ц.м.об}}$ и $x_{\text{ц.м.ф}}, y_{\text{ц.м.ф}}, z_{\text{ц.м.ф}}$ – координаты центра масс соответственно виброизолированного объекта и фундаментного блока в указанной выше системе координат X_1, Y_1, Z_1 ;

$I_{\text{ф}x}, I_{\text{ф}y}, I_{\text{ф}z}$ – моменты инерции фундаментного блока относительно осей, проходящих через его центр (Ц. М. Ф).

При аппроксимации фундаментного блока в виде параллелепипеда

$$I_{\text{ф}x} = \frac{M}{12}(b_{\text{ф}}^2 + c_{\text{ф}}^2);$$

$$I_{\text{ф}y} = \frac{M}{12}(c_{\text{ф}}^2 + a_{\text{ф}}^2);$$

$$I_{\text{ф}z} = \frac{M}{12}(a_{\text{ф}}^2 + b_{\text{ф}}^2).$$

4. Рассчитывают значение угловой частоты (1/с) возмущающей силы

$$\omega = 2\pi n_{\text{пр}}/60.$$

5. Определяют возмущающие воздействия по каждой координате. Заданная центробежная сила заменяется вертикальной силой

$$F_{mz} = F \sin \omega t$$

и горизонтальной силой

$$F_{mx} = F \cos \omega t.$$

Возмущающая сила F_{mz} , изменяющаяся по закону синуса, обуславливает возникновение крутящих моментов $M_{my} = F_{mz}l_x$.

Возмущающая сила F_{mx} , изменяющаяся по закону косинуса, обуславливает возникновение крутящих моментов $M_{mz} = F_{mx}l_y$, $M_{my} = -F_{mx}l_z$.

Таким образом, суммарные крутящие моменты вокруг осей X_0, Y_0, Z_0 , соответственно составят

$$\sum M_{mx} = -F_{mz}l_y;$$

$$\sum M_{my} = F_{mz}l_x - F_{mx}l_z;$$

$$\sum M_{mz} = F_{mx}l_y,$$

где l_x, l_y, l_z – координаты центра масс виброизолированного агрегата в системе координат X_0, Y_0, Z_0 :

$$l_x = e - x_0;$$

$$l_y = f;$$

$$l_z = a_B - h_B.$$

6. В первом приближении определяют значения амплитуд колебаний a_{mx}, a_{my}, a_{mz} центра масс системы по осям координат (м) и угловых колебаний $\varphi_{mx}, \varphi_{my}, \varphi_{mz}$ вокруг этих осей (рад):

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

$$a_{my} = 0; \tag{6.3}$$

$$\varphi_{my} = \frac{\sum M_{my}}{I_{0y}\omega^2}; \tag{6.4}$$

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

7. Определяют ориентировочные значения амплитуды виброперемещения вала рабочего колеса агрегата по осям X_0, Y_0, Z_0 :

$$a_{mvx} = a_{mx} + \varphi_{my}l_z - \varphi_{mz}l_y;$$

$$a_{mvy} = a_{my} - \varphi_{mx}l_z + \varphi_{mz}l_x = \varphi_{mz}l_x - \varphi_{mx}l_z;$$

$$a_{mvz} = a_{mz} + \varphi_{mx}l_z - \varphi_{my}l_x.$$

Проводят сопоставление полученных значений с допускаемым значением $[A_{mi}]$ по условиям технологического процесса. В случае необходимости изменяют параметры фундаментного блока и расположение виброизоляторов.

8. Определяют требуемое значение коэффициента эффективности виброизоляции

$$K_{эj} = \frac{a_{mj}}{A_{норм}},$$

где j – направление по осям ортогональной системы (X, Y, Z).

9. Оценивают ожидаемую амплитуду силы, передаваемую на несущую конструкцию, на которой располагается рабочее место, в направлении j :

$$F_{kj} = \frac{F_{mj}}{K_{эj}}.$$

10. Исходя из полученного значения F_{kj} , проводят контроль прочности несущей конструкции, что особенно важно при расположении виброактивного оборудования на перекрытии зданий.

11. Определяют требуемый коэффициент передачи вибрации (виброизоляции)

$$K_{ПВj} = F_{kj} / F_{mj}.$$

12. Находят требуемое значение отношения $\omega/\omega_{0j} = \alpha_j$:

$$\alpha_j = \sqrt{1 + 1/K_{ПВj}}.$$

Полученное максимальное значение $\alpha_{max} = \max(\alpha_j)$ или величина большая α_{max} закладывается в дальнейший расчет.

Исходя из полученных значений α_j , определяют угловые (1/с) и циклические (Гц) частоты собственных колебаний в отдельных направлениях пространства:

$$\omega_{0j} = \frac{\omega}{\alpha_j} \text{ (1/с);} \quad f_{0j} = \frac{\omega_{0j}}{2\pi} \text{ (Гц).}$$

14. Вычисляют потребные суммарные жесткости системы виброизоляции в направлении осей j ортогональной системы (X, Y, Z):

$$q_j = (m + M)\omega_{0j}^2 \text{ (Н/м)}. \quad (6.5)$$

15. Определяют значение критерия скорости убывания частоты вращения ε к квадрату частоты собственных колебаний f_{0z}

$$\Delta_1 = \frac{\varepsilon}{f_{0z}^2},$$

где ε – скорость нарастания или убывания числа оборотов машины, Гц/с;

f_{0z} – частота собственных колебаний машины, Гц.

Далее по коэффициентам неупругого сопротивления $\gamma = 0,01$ (случай стальных пружин) по графику на рис. 6.6 определяют отношение

$$\frac{a_{\max z}}{a_{mz}},$$

где $a_{\max z}$ – максимальная амплитуда колебаний установки при прохождении через резонанс в режиме останова, см;

a_{mz} – амплитуда вертикальных колебаний машины при рабочем режиме, см.

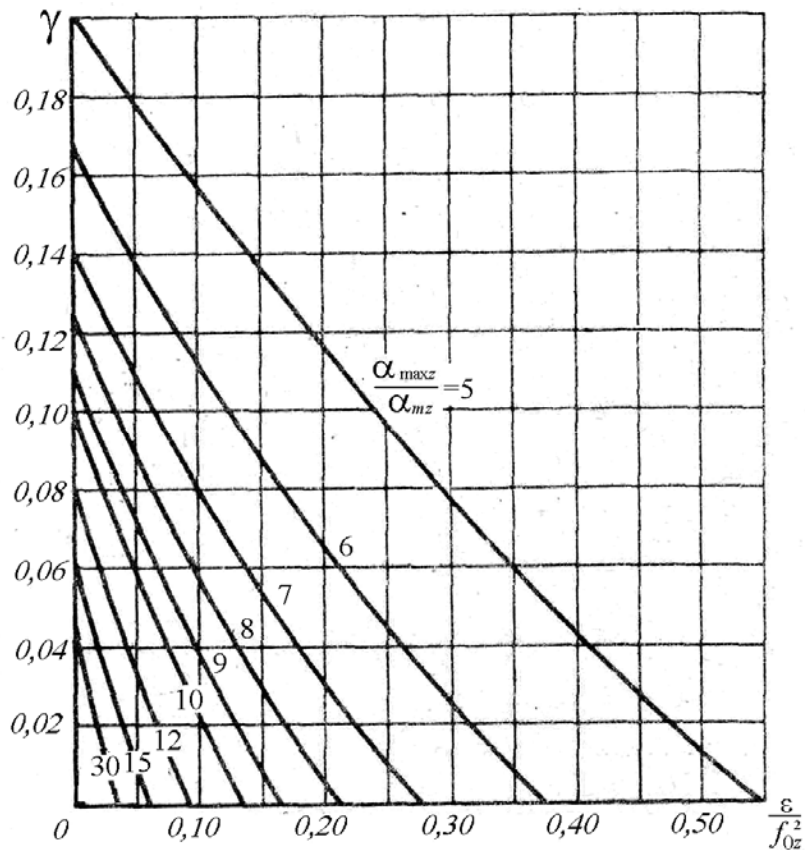


Рис. 6.6. Зависимость γ , характеризующая затухание вибрации во времени от ε / f_{0z}^2

16. Оценивают $\alpha_{\max z} = \Delta_2 \alpha_{mz}$ и максимальное амплитудное значение вертикальной силы, передающейся через виброизоляторы при пуске или останове агрегата,

$$F_{\max z} = \alpha_{\max} q_z.$$

17. Полученные значения $F_{\max z}$ сравнивают с допустимыми с точки зрения прочности поддерживающей строительной конструкции. При необходимости изменяют параметры фундаментного блока a_ϕ , b_ϕ , c_ϕ , расположение виброизоляторов либо режим работы установки $n_{\text{пф}}$.

18. Для полученного значения q_i и выбранного количества виброизоляторов N определяют требуемую динамическую жесткость одного виброизолятора $q_{1j} = \frac{q_j}{N}$ и расчетную нагрузку на него.

Расчетная нагрузка по оси Z на каждый пружинный виброизолятор, в случае их применения, определяется по формуле

$$F_{1z} = F_{\text{ст1}} + 1,5F_{\text{дин1}},$$

где $F_{\text{ст1}} = \frac{(M + m)g}{N}$ – статическая нагрузка на виброизолятор, Н;

$F_{\text{дин1}} = q_{1z} a_{mz}$ – динамическая нагрузка на виброизолятор, Н.

Динамическую нагрузку по другим осям рассчитывают по аналогичным формулам:

$$F_{\text{дину}} = q_y a_{my}; \quad F_{\text{динх}} = q_x a_{mx}.$$

19. Зная нагрузку на виброизолятор и его требуемую динамическую жесткость, подбирают стандартные виброизоляторы.

6.4. Виброизоляция рабочих мест

Расчет виброизоляции рабочих мест проводят согласно ГОСТ 25571–82 «Вибрация. Основные положения методов расчета виброизоляции рабочего места операторов самоходных машин». Рассмотрим случай полигармонического возбуждения вибраций, наиболее характерного для машиностроительных заводов, а также для испытательных стендов.

Целью расчета виброизоляции рабочих мест является определение значений коэффициентов эффективности виброизоляции, значений амплитуд виброскорости (виброускорения) и виброперемещения сиденья относительно основания для каждой из гармонических составляющих полигармонического возбуждения; определение суммарных среднеквадратических значений виброскорости (ускорения) в каждой стан-

дартной октавной полосе частот; сравнение их с допустимыми значениями, установленными ГОСТ 12.1.012–78.

Исходные данные к расчету: масса сиденья m_c , масса оператора $m_ч$, масса опорной конструкции M , масса оборудования $m_{об}$ (если оно имеется). Данные по возбуждению вибраций для различных кинематических характеристик движения основания приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные по возбуждению колебаний рабочего места

Способ описания движения основания	Закон, описывающий кинематическую характеристику	Исходные данные
Перемещением	$y = \sum_{k=1}^n y_{mk} \sin 2\pi f_k t$	$y_{mk}, f_k, k = 1, 2, \dots, n$
Скоростью	$\frac{dy}{dt} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{dy}{dt} \right)_{mk} \sin 2\pi f_k t$	$\left(\frac{dy}{dt} \right)_{mk}, f_k, k = 1, 2, \dots, n$
Ускорением	$\frac{d^2 y}{dt^2} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right)_{mk} \sin 2\pi f_k t$	$\left(\frac{d^2 y}{dt^2} \right)_{mk}, f_k, k = 1, 2, \dots, n$

Расчет осуществляется в следующем порядке.

1. Задают число опор N (как правило, 4, 8 или 16, но не менее 4).
2. Подбирают стандартный тип виброизолятора.
3. По данным табл. 6.2–6.3 или ТУ на виброизоляторы определяют жесткость q и коэффициент трения опор ϵ .
4. Рассчитывают суммарную жесткость всех виброизоляторов

$$q_s = qN.$$

5. Определяют степень демпфирования систем виброизоляции

$$D = \frac{\epsilon}{2} \sqrt{q_s m_s},$$

где $m_s = m_c + m_ч + M + m_{об}$.

6. Вычисляют значения угловых частот возбуждения $\omega_k = 2\pi f_k$ и отношений $\frac{\omega_k}{\omega_0}$, где $\omega_0 = 2\pi f_0, k = 1, 2, \dots, n; f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q_z}{m_z}}$.

7. Подсчитывают коэффициенты передачи:

$$K_{\Pi x} = \frac{\left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left[2D\left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)\right]^2}};$$

$$K_{\Pi z} = \frac{\sqrt{1 + \left[2D\left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)\right]^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left[2D\left(\frac{\omega_k}{\omega_0}\right)\right]^2}}.$$

Для $D = 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0$ зависимости $K_{\Pi x}$ и $K_{\Pi z}$ от $\frac{\omega_k}{\omega_0}$ приведены на рис. 6.7.

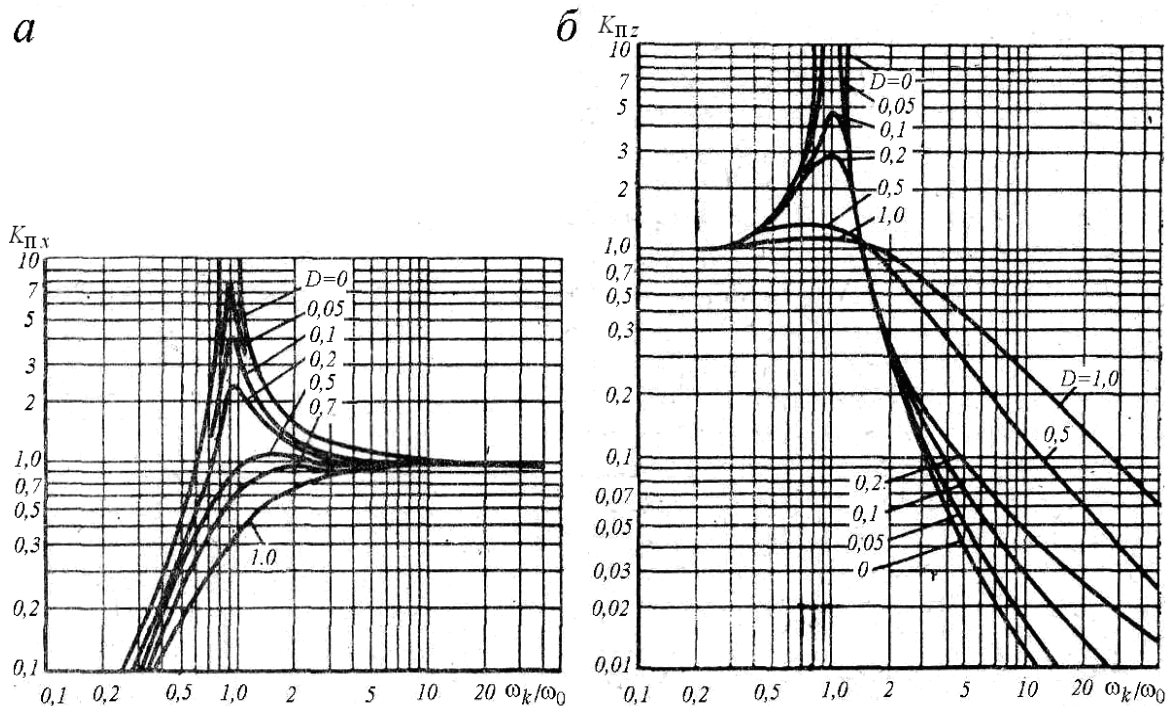


Рис. 6.7. График для определения коэффициентов передачи $K_{\Pi x}$ (а) и $K_{\Pi z}$ (б) в зависимости от отношения ω_k/ω_0 и степени демпфирования D в системе виброизоляции

8. Определяют коэффициент эффективности виброзащиты

$$K_9 = \frac{1}{K_{\Pi z}}$$

9. Определяют $\left(\frac{dz}{dt}\right)_m$, $\left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)_m$, x_m .

Формулы для их определения в зависимости от исходных данных, характеризующих кинематическое возбуждение, приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Формулы для определения характеристик движения кресла оператора

Способ описания движения кресла	Исходные данные	Формулы для определения амплитуд		
		$\left(\frac{dz}{dt}\right)_m$	$\left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)_m$	x_m
Перемещением	y_m, f	$K_{\Pi z} \omega y_m$	$K_{\Pi z} \omega^2 y_m$	$K_{\Pi x} \omega y_m$
Скоростью	$\left(\frac{dy}{dt}\right)_m, f$	$K_{\Pi z} \left(\frac{dy}{dt}\right)_m$	$K_{\Pi z} \omega \left(\frac{dy}{dt}\right)_m$	$\frac{K_{\Pi x}}{\omega} \left(\frac{dy}{dt}\right)_m$
Ускорением	$\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)_m, f$	$K_{\Pi z} \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)_m$	$K_{\Pi z} \omega \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)_m$	$\frac{K_{\Pi x}}{\omega} \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)_m$

10. Определяют среднеквадратические значения скорости (ускорения) и логарифмические уровни скорости

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

$$L = 20 \lg \frac{v_{\text{СК}}}{v_{\text{оп}}}, \quad v_{\text{оп}} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с.}$$

Для составляющих, попавших в одну стандартную октавную полосу, определяется суммарное значение вибрационных параметров (их абсолютных значений, но не уровней)

$$v_s = \sqrt{\sum_k v_{\text{СК}i}^2}; \quad w_s = \sqrt{\sum_k w_{\text{СК}i}^2},$$

где k – количество составляющих в октавной полосе.

Значения граничных частот стандартных октавных полос даны в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Граничные частоты стандартных октавных полос

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	2	4	8	18	31,5	63
Значения граничных частот	1,4–2,8	2,8–5,6	5,6–11,25	11,25–22,5	22,5–45	45–90

Полученные значения вибрационных параметров сравнивают с допустимыми значениями по ГОСТ 12.1.012–78 (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Допустимые амплитуды виброперемещений на рабочих местах при проектировочных расчетах строительных конструкций для различных условий воздействия вибрации

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения, мм		
	на постоянных рабочих местах стационарных машин в производственных помещениях	в производственных помещениях, не имеющих источников вибрации	в помещениях работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом
2	1,4	0,57	0,2026
4	0,25	0,1	0,0354
8	0,063	0,025	0,0090
16	0,0282	0,112	0,0039
31,5	0,0141	0,0056	0,0020
63	0,0072	0,0028	0,0010

При превышении нормативных значений в какой-либо полосе частот задают другие типы опор либо увеличивают их число и расчет повторяют.

7. ЗАЩИТА ОТ ШУМА

Источниками шума на машиностроительных предприятиях являются:

- производственное оборудование (станочное, кузнечно-прессовое и т. п.);
- энергетическое оборудование;
- компрессорные и насосные станции;
- вентиляторные установки;
- трансформаторные подстанции; продукция предприятия – при ее испытаниях на стендах (двигатели внутреннего сгорания, авиационные двигатели, компрессоры и т. п.).

В зависимости от физической природы возникающего шума они подразделяются на источники механического, аэродинамического, электромагнитного и гидродинамического шума. Снижение шума на рабочих местах должно достигаться в первую очередь за счет акустического совершенствования машин с улучшением их шумовых характеристик.

Шумовые характеристики (ШХ) источников шума (ИШ) – октавные уровни звуковой мощности (УЗМ) L_p (дБ), и показатели направленности излучения шума G (дБ), или предельно допустимые шумовые характеристики (ПДШХ) должны быть указаны в паспорте на них, руководстве (инструкции) по эксплуатации или другой сопроводительной документации. При отсутствии таких сведений необходимо пользоваться справочными данными по шумовым характеристикам применяемой машины или ее аналога.

7.1. Классификация средств защиты от шума

Средства защиты от шума, применяемые на машиностроительных предприятиях, подразделяются на средства коллективной защиты (СКЗ) и индивидуальной защиты (СИЗ). Классификация средств коллективной защиты приведена на рис. 7.1.

Разработка или выбор средств защиты от шума производится на основании акустического расчета, включающего выявление расчетных точек (РТ), для которых производится расчет, и установление допустимых уровней шума для этих точек; определение ожидаемых уровней звукового давления (УЗД) L (дБ), в РТ до осуществления мероприятий по снижению шума и требуемого снижения УЗД $\Delta L_{тр}$ в расчетных точках.

Расчетные точки выбираются на рабочих местах в производственных помещениях или на территории предприятия на высоте 1,2–1,5 м от уровня пола, рабочей площадки или планировочной отметки территории.

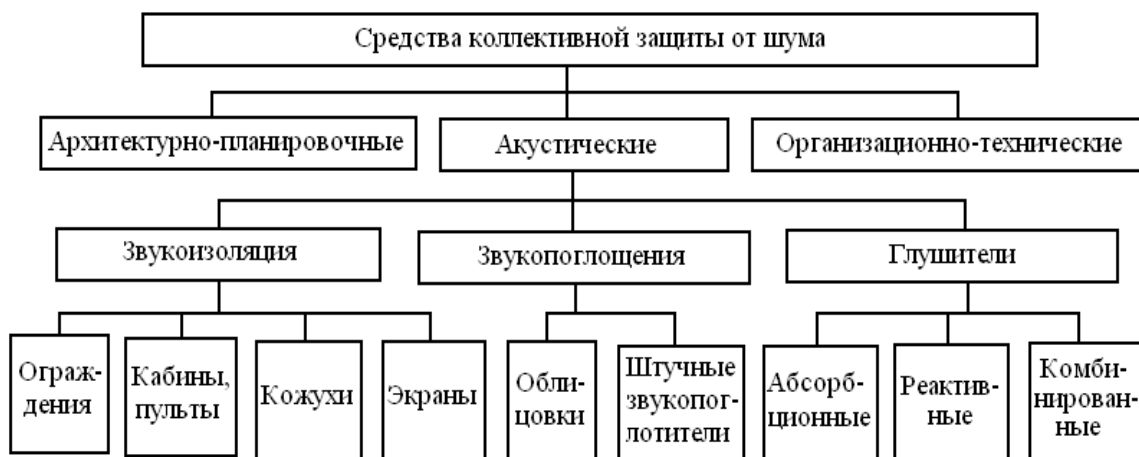


Рис. 7.1. Средства коллективной защиты от шума на пути его распространения

7.2. Определение ожидаемых уровней звукового давления и требуемого снижения шума

В помещении с одним источником шума или несколькими источниками с одинаковыми октавными УЗД выбираются две расчетные точки: одна – на рабочем месте в зоне прямого звука, создаваемого источником шума, а другая – на рабочем месте, расположенном в зоне отраженного звука.

В помещениях с несколькими разными по октавным УЗД источниками шума (разница более 10 дБ) в зоне прямого звука выбирают две расчетные точки: на рабочих местах у источников с наибольшими и наименьшими УЗД.

Ожидаемые УЗД в расчетных точках до осуществления мероприятий по снижению шума определяются в зависимости от взаимного расположения этих точек и источников шума для каждой из восьми октавных полос со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Ниже рассматриваются наиболее типичные случаи для машиностроительных предприятий.

А. Расчетная точка находится в помещении с одним источником шума (см. рис. 7.2, а, б). Октавные УЗД определяются по формуле

$$L = L_p + 10 \lg \left(\frac{K\Phi}{S} + \frac{4}{B} \right), \quad (7.2.1)$$

где L_p – октавный УЗМ источника шума, определяемый из паспортных характеристик ИШ и по другим данным, дБ;

κ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля и принимаемый по графику на рис. 7.2 в зависимости от отношения r/l_{\max} , где r – расстояния между АЦ ИШ и расчетной точкой, l_{\max} – максимальный габаритный размер источника (при $r > 2l_{\max}\kappa = 1$);

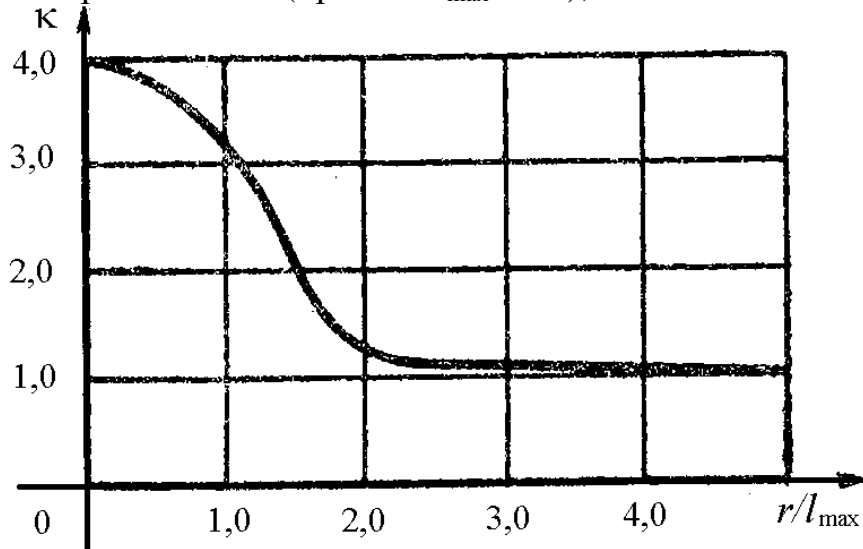


Рис. 7.2. График определения коэффициента κ

Φ – фактор направленности ИШ, определяемый по опытными данным; для ИШ с равномерным излучением звука $\Phi = 1$;

S – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей ИШ при равном удалении от его поверхности и проходящей через РТ, м^2 .

Если $r < 2/r_{\max}$, то S зависит от формы выбранной поверхности, например для прямоугольного параллелепипеда (см. рис. 7.2, а)

$$S = 2(l_{\max} + 2a)/h + 2(l + 2a)/h + (l_{\max} + 2a)(l + 2a).$$

Если $r > 2l_{\max}$, то $S = \Omega r^2$ (см. рис. 7.3, б), где Ω – пространственный угол излучения, величина которого зависит от местоположения источника шума: $Q = 4\pi$ – в пространстве (на колонне в цехе); $\Omega = 2\pi$ – на поверхности пола, перекрытия, стены; $Q = \pi$ в двухгранном угле, образованном ограждающими конструкциями; $\Omega = \pi / 2$ – в трехгранном угле.

Постоянная помещения B для соразмерных помещений, у которых отношение наибольшего размера к наименьшему не более 5, определяется по формуле

$$B = \frac{S_{\text{огр}}\alpha}{1 - \alpha}, \text{ м}^2,$$

где $S_{\text{огр}}$ – общая площадь ограждающих поверхностей, м^2 ;

α – средний коэффициент звукопоглощения в помещении.

Для октавных полос с частотами 63–1000 Гц $\alpha = \alpha_0$. Для октавных полос с частотами 2000–8000 Гц α вычисляют по формуле

$$\alpha = 1 - (1 - \alpha_0) \exp(-ml_{\text{ср}});$$

где α_0 – средний коэффициент звукопоглощения ограждающих поверхностей помещения, определяемый по табл. 7.1.

m – показатель затухания звука в воздухе на единицу длины, определяемый по табл. 7.2, 1/м;

$l_{\text{ср}}$ – средняя длина свободного пробега звуковых волн в помещении между последовательными отражениями, определяемая как $l_{\text{ср}} = 4V/S_{\text{огр}}$, м;

V – объем помещения, м³.

Таблица 7.1

Средний коэффициент звукопоглощения
ограждающих поверхностей помещения

Тип помещения	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Машинные залы, генераторные, испытательные стенды, вентиляционные камеры, цехи предприятий пищевой промышленности с ограждениями, облицованными моющейся плиткой	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
Механические и металлообрабатывающие цехи; цехи агрегатной сборки в авиационной и судостроительной промышленности	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
Цехи деревообработки и предприятий текстильной промышленности; посты управления; лаборатории; конструкторские бюро; рабочие помещения управлений	0,11	0,11	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14

Таблица 7.2

Показатель затухания звука в воздухе m (1/м),
при температуре 18–20 °С

Относительная влажность воздуха, %	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
30	0,00015	0,0003	0,00064	0,0012	0,0032	0,0095	0,0340
35	0,00015	0,0003	0,00062	0,0011	0,0028	0,0082	0,0290
40	0,00015	0,0003	0,00060	0,0010	0,0027	0,0075	0,0270
45	0,00014	0,00029	0,00059	0,00095	0,0025	0,0065	0,0230
50	0,00014	0,00029	0,00058	0,00080	0,0024	0,0061	0,0215
55	0,00014	0,00029	0,00057	0,00075	0,0023	0,0057	0,0190
60	0,00014	0,00028	0,00056	0,00070	0,0022	0,0055	0,0182
65	0,00014	0,00028	0,00055	0,00065	0,0021	0,0050	0,0164
70	0,00014	0,00028	0,00055	0,00063	0,0020	0,0051	0,0156
75	0,00014	0,00028	0,00055	0,00061	0,0020	0,0050	0,0142
80	0,00014	0,00028	0,00055	0,00060	0,0020	0,0049	0,0138
90	0,00014	0,00028	0,00055	0,00058	0,0020	0,0048	0,0124

Б. Расчетная точка находится в помещении с несколькими источниками шума (см. рис. 7.2, в). Октавные УЗД определяются по формуле

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_i \kappa_i \Phi_i}{S_i} + \frac{4}{B} \sum_{i=1}^n \Delta_i \right), \quad (7.2)$$

где $\Delta_i = 10^{0,1L_p}$ можно определять по табл. 4.3 [1], положив $L_p = \kappa_i$;

κ_i , Φ , S_i , B – то же, что в формуле (7.1), но для i -го источника шума;

m – количество ИШ, ближайших к расчетной точке, т. е. источников, находящихся на расстоянии $r_i \leq 5r_{\min}$;

r_{\min} – расстояние от РТ до АЦ ближайшего к ней ИШ, м;

n – общее число принимаемых в расчет ИШ (с учетом коэффициента одновременности работы оборудования).

Если в рассматриваемом помещении установлено несколько одинаковых ИШ, то ожидаемые октавные УЗД от всех источников в расчетной точке определяют по формуле

$$L = L_{p0} + 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{\kappa_i \Phi_i}{S_i} + \frac{4}{B} \right), \quad (7.3)$$

где L_{p0} – октавный УЗМ, излучаемой одним источником шума, дБ;

m – общее количество ИШ.

В. Источник шума расположен в смежном с изолируемым помещении или несколько источников расположены в смежных помещениях (см. рис. 7.3, з). Шум проникает в изолируемое помещение через ограждения (перегородки, перекрытие) и элементы этих ограждений (окна, двери, отверстия).

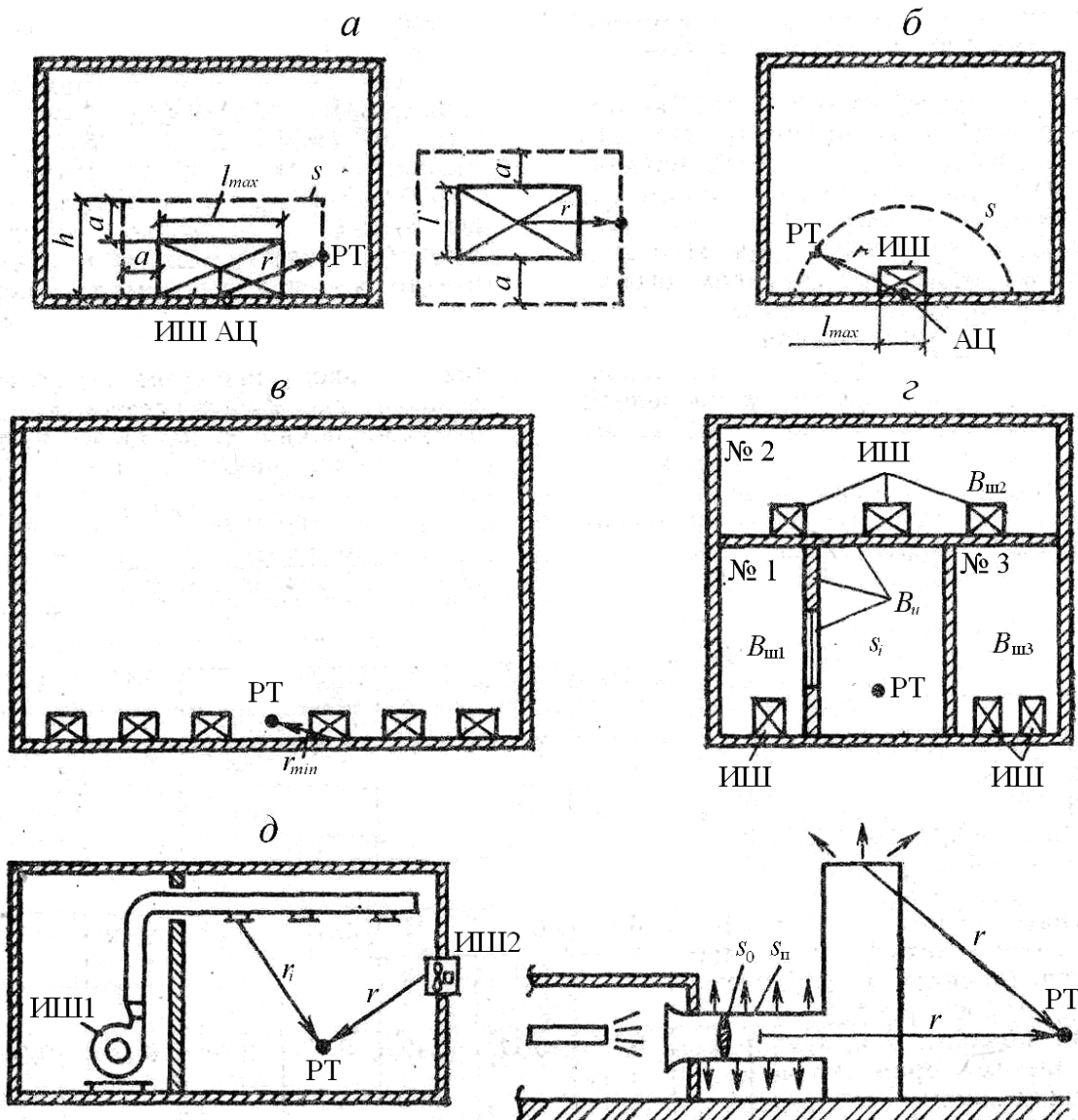


Рис. 7.3. Схемы расположения источников шума и расчетных точек

Октавные УЗД в расчетной точке изолируемого помещения определяют по формуле

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}, \quad (7.4)$$

где n – количество ограждений и их элементов;

L_i – октавные УЗД в расчетной точке, создаваемые звуком, прошедшим через рассматриваемое ограждение или его элемент:

$$L_i = L_{p_{\text{сум}}} + 10 \lg B_{\text{ш}} - 10 \lg S_{\text{огр}} + R_i - 10 \lg B_{\text{и}} + 6, \quad (7.5)$$

где $L_{p_{\text{сум}}}$ – суммарный октавный УЗМ, излучаемой всеми источниками, находящимися в рассматриваемом шумном помещении № 2;

$$L_{p_{\text{сум}}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n \Delta_i;$$

при одном источнике $L_{p_{\text{сум}}} = L_p$; $B_{\text{ш}}$ и $B_{\text{и}}$ – постоянная соответственно шумного и изолированного помещения, м^2 ; $S_{\text{огр}i}$ – площадь рассматриваемого ограждения или его элемента, м^2 ; R_i – звукоизоляция этого ограждения или элемента (дБ), определяемая по данным подраздела 7.3.

7.3. Средства звукоизоляции

К средствам звукоизоляции (рис. 7.4) относятся звукоизолирующие ограждения 1, звукоизолирующие кабины и пульта управления 2, звукоизолирующие кожухи 3 и акустические экраны 4. Их целесообразно применять в тех случаях, когда нужно существенно снизить интенсивность прямого звука на рабочих местах.

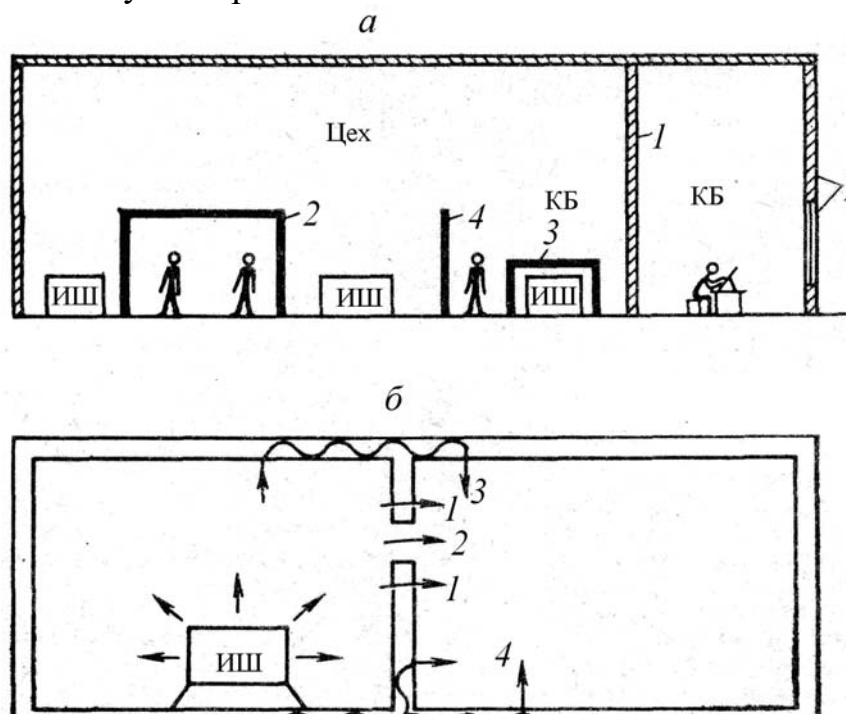


Рис. 7.4. Средства звукоизоляции на машиностроительном предприятии (а) и пути распространения шума из одного помещения в другое (б)

Звукоизолирующие ограждения (стены, перекрытия, перегородки, остекленные проемы, окна, двери). Звукоизоляция воздушного шума ограждением

$$R = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{пад}}}{P_{\text{пр}}}, \text{ дБ},$$

где $P_{\text{пад}}$ и $P_{\text{пр}}$ – соответственно звуковая мощность, падающая на ограждение и прошедшая через него, Вт.

Требуемая звукоизоляция $R_{\text{тр}}$ воздушного шума однородного ограждения (например, перегородки) определяется, в зависимости от способа проникновения шума, следующими формулами:

1. При проникновении шума из одного помещения с ИШ в смежное помещение

$$R_{\text{тр}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}} - 10 \lg B_{\text{и}} + 10 \lg S_{\text{огр}}, \quad (7.6)$$

где $L_{\text{ш}}$ – измеренный или рассчитанный по формулам (7.1)–(7.3) октавный УЗД в шумном помещении, дБ;

$L_{\text{доп}}$ – допустимый октавный УЗД в изолируемом от шума помещении, дБ, с постоянной $B_{\text{и}}$, м²;

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

Необходимо отметить, что шум из помещения с источником или источниками может попадать в смежное помещение различными путями (см. рис. 7.3, б). Через ограждение (путь 1) и какое-либо отверстие в нем (путь 2) происходит прямая передача шума, а путем 3 – косвенная. Вибрации от источника передаются на основание, перекрытие, перегородку и т. п., что является причиной появления структурного шума (путь 4).

2. При проникновении шума из помещения с ИШ на территорию предприятия

$$R_{\text{тр}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}} + 10 \lg S_{\text{огр}} - 15 \lg r - 11, \quad (7.7)$$

где $L_{\text{доп}}$ – допустимый октавный УЗД в РТ территории, дБ;

r – расстояние от центра ограждающей конструкции до расчетной точки, м;

3. При проникновении шума с территории предприятия в изолируемое помещение

$$R_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}} - 10 \lg B_{\text{и}} + 10 \lg S_{\text{огр}} + 6, \quad (7.8)$$

где L – октавный УЗД в точке, расположенной снаружи ограждения в 2 м от его центра, определяемый по формуле (7.4), дБ;

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

7.4. Средства звукопоглощения

Средства звукопоглощения применяют для снижения шума на рабочих местах, находящихся в помещении с источниками шума или в «тихих» помещениях, куда проникает шум из соседних «шумных» помещений. К этим средствам относят звукопоглощающие облицовки и штучные звукопоглотители, применяемые в тех случаях, когда требуемое снижение шума в расчетных точках превышает 1–3 дБ не менее чем в трех октавных полосах или 5 дБ хотя бы в одной из полос. Установка данных средств в помещении называется акустической обработкой.

Интенсивность звука в какой-либо точке помещения складывается из интенсивности прямого $I_{\text{пр}}$ и отраженного звука $I_{\text{отр}}$. Преобладание одного звука над другим или их равенство характеризуется акустическим отношением $Q = I_{\text{отр}}/I_{\text{пр}}$.

Область помещения, где $Q < 1$ (вблизи источников шума), называется областью прямого звука, а при $Q > 1$ (вдали от источников) – областью отраженного звука. Поскольку акустический эффект звукопоглощающей облицовки и штучных звукопоглотителей основан на уменьшении интенсивности отраженного звука, снижение шума в расчетной точке будет в сильной мере зависеть от расположения ее в помещении, т. е. от величины Q (в зоне отраженного звука $\Delta L_A = 10\text{--}15$ дБ, а на рабочих местах в зоне прямого звука $\Delta L_A = 3\text{--}6$ дБ). Максимально возможное снижение УЗД в данной точке помещения при его акустической обработке $\Delta L_{\text{max}} = 10 \lg(1 + Q)$. Необходимо отметить, что величина Q зависит от формы помещения.

Максимальное снижение УЗД ΔL в расчетной точке, расположенной в зоне отраженного звука, при установке звукопоглощающих конструкций определяется по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1 \psi}{B \psi_1}, \quad (7.9)$$

где ψ, ψ_1 – коэффициенты, определяемые по рис. 7.5 до и после установки звукопоглощающих конструкций;

B_1 – постоянная, определяемая по формуле

$$B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{1 - \alpha_1},$$

где $A_1 = \alpha (S_{\text{огр}} - S_{\text{обл}})$ – значение звукопоглощения необлицованных ограждающих поверхностей, м²;

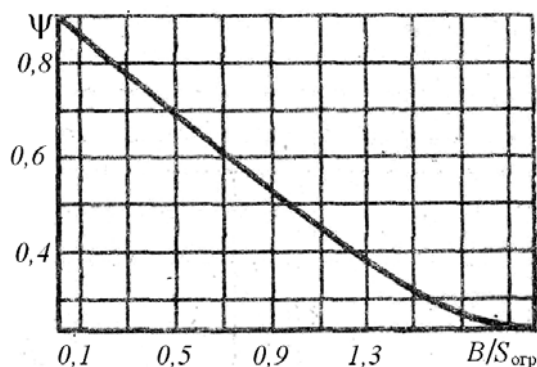


Рис. 7.5. График для определения ψ

α – средний коэффициент звукопоглощения помещения до установки звукопоглощающих конструкций:

$$\alpha = \frac{B}{B + S_{\text{огр}}};$$

$S_{\text{огр}}$ – общая площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 ;

$S_{\text{обл}}$ – площадь звукопоглощающей облицовки, м^2 ;

ΔA – значение дополнительного звукопоглощения, вносимого облицовкой и штучными звукопоглотителями:

$$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} S_{\text{обл}} + A_{\text{шт}} n_{\text{шт}}.$$

Здесь $\alpha_{\text{обл}}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки в октавной полосе частот, определяемый по табл. 4.24, 4.25 [1];

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

$n_{\text{шт}}$ – количество штучных звукопоглотителей;

α_1 – средний коэффициент звукопоглощения помещения после установки звукопоглощающих конструкций:

$$\alpha_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S_{\text{огр}}}.$$

Необходимая площадь звукопоглощающей облицовки может быть определена по формуле

$$S_{\text{обл}} = \frac{\Delta A_{\text{тр}}}{\alpha_{\text{обл}}}, \quad (7.10)$$

где $\Delta A_{\text{тр}}$ – значение звукопоглощения, обеспечивающего требуемое снижение УЗД и определяемое по α , $\Delta L_{\text{тр}}$ и $S_{\text{огр}}$.

7.5. Глушители шума

На машиностроительных предприятиях повышенный шум на рабочих местах и в жилой застройке часто создается при работе вентиляционных, компрессорных и газотурбинных установок, систем сброса сжатого воздуха, стендов для испытаний различных двигателей. Снижение шума аэродинамического происхождения достигается установкой глушителей в каналах и воздуховодах на пути распространения шума от его источника до места всасывания или выброса воздуха и газов. Глушители подразделяются на абсорбционные, реактивные (рефлексные) и комбинированные. Снижение шума в абсорбционных глушителях происходит за счет поглощения звуковой энергии применяемыми в них звукопоглощающими материалами и конструкциями, а в реактивных – в результате отражения звука обратно к источнику. Комбинированные глушители обладают свойством как поглощать, так и отражать звук.

Выбор типа глушителя зависит от конструкции заглушаемой установки (стенда, системы и т. д.), спектра и требуемого снижения шума. Применение глушителей для различных установок и систем рассмотрено ниже.

Наибольшее распространение в вентиляционных установках общепромышленного назначения получили глушители абсорбционного типа – трубчатые, пластинчатые, цилиндрические, облицованные изнутри повороты воздуховодов (см. рис. 7.6), поскольку вентиляторы имеют широкополосный спектр шума.

Конструкции глушителей подбирают в зависимости от поперечных размеров воздуховода, допустимой скорости воздушного потока, требуемого снижения УЗД и места для установки глушителя.

Трубчатые глушители обычно применяются при поперечном сечении воздуховодов до 500×500 мм или диаметре до 500 мм, цилиндрические – при диаметре до 700 мм, а пластинчатые – при больших размерах.

В глушителях пластины устанавливаются параллельно потоку воздуха на определенном расстоянии друг от друга. Толщину пластин выбирают исходя из максимума в спектре шума – чем ниже частота заглушаемого звука, тем толще должны быть пластины глушителя. Обычно толщина пластин составляет 100–200 мм, реже 400–600 мм.

Применяемые в глушителях ЗПМ приведены в табл. 7.3. Для защиты ЗПМ от выдувания потоком воздуха используется перфорированный стальной лист толщиной 0,7–1 мм (диаметр отверстий 6 мм, шаг 12 мм, коэффициент перфорации 20 %) и стеклоткань типа ЭЗ-100 по ГОСТ 19907–83. Возможно использование других марок стеклоткани (Э1-100, Э2-100, Э2-80), имеющих эквивалентное сопротивление продуванию.

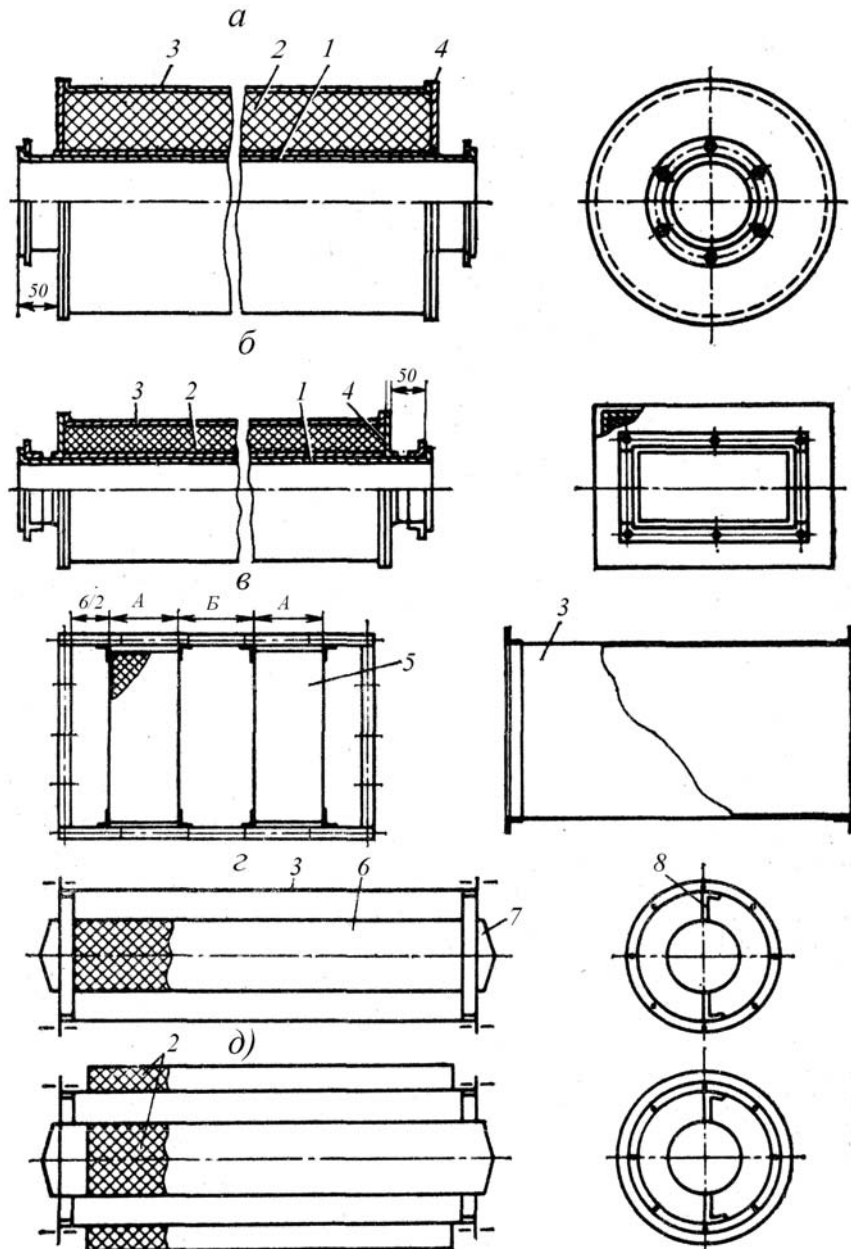


Рис. 7.6. Глушители шума вентиляционных установок:

а – трубчатый круглый сварной; *б* – трубчатый прямоугольный сварной; *в* – пластинчатый; *г* – цилиндрический; *д* – цилиндрический комбинированный; 1 – перфорированная обечайка; 2 – звукопоглощающий холст (мат); 3 – короб наружный; 4 – диафрагма; 5 – пластина; 6 – цилиндр; 7 – обтекатель; 8 – крепление цилиндра

Необходимое свободное сечение глушителя $F_{св}$ находят из соотношения

$$F_{св} = \frac{Q}{v_{доп}}, \quad (7.11)$$

где Q – расход воздуха через глушитель, м³/с;

$v_{\text{доп}}$ – допустимая скорость воздуха в глушителе, принимаемая в зависимости от располагаемых потерь давления и типа помещения, которое обслуживает данная установка, м/с.

Таблица 7.3

Звукопоглощающие материалы для глушителей шума

Материал	ТУ	Плотность заполнения, кг/м ²	Область применения
Маты (холсты) из супертонкого базальтового волокна БСТВ	РСТ УССР–5013–81	17–20	Для приточных и вытяжных систем
Маты (холсты) из супертонкого стекловолкна СТВ марки Ш	ТУ 21–РСФСР–224–75	17–20	То же с влажностью воздуха не более 60 %
Плиты полужесткие из минеральной ваты ПП80	ТУ 21–24–51–73	80	Для вытяжных систем
Плиты мягкие из минеральной ваты марок ПМ-40 и ПМ-50	ТУ 21–24–52–73	40–50	Для вытяжных систем

Поток воздуха, проходящий через глушитель, генерирует так называемый собственный шум глушителя, звуковая мощность которого зависит от скорости потока, конструкции глушителя и его размеров.

Особенно важно учитывать то обстоятельство, когда глушитель устанавливается непосредственно перед помещением. В этом случае допустимую скорость воздуха можно принимать в зависимости от допустимого уровня звука в этом помещении:

Допустимый уровень звука в помещении, дБ	30	40	50	55	80
Допустимая скорость воздуха, м/с	4	6	8	10	15

При удалении глушителя от помещения генерируемый шум будет затухать в воздуховоде тем сильнее, чем дальше расположен глушитель. Поэтому в таких случаях допустимые скорости воздуха могут быть увеличены в 1,5–2 раза. Для предотвращения выдувания ЗПМ значение $v_{\text{доп}}$ не должно превышать 15–20 м/с.

Длина глушителя выбранной конструкции определяется по табл. 7.4–7.5 из условий получения требуемого снижения УЗД в каждой

из октавных полос нормируемого диапазона частот. В качестве проектной принимается максимальная длина глушителя, требуемая для снижения шума в какой-либо полосе частот.

Таблица 7.4

Характеристики трубчатых глушителей круглого сечения
(рис. 7.6, а)

Внутренний диаметр, мм	Расчетная длина, м	Снижение УЗМ, дБ, в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
125	0,5	5	7	11	20	19	16	12	11
	1,0	9	12	20	36	34	27	19	17
	1,5	11	17	25	44	42	37	25	22
	2,0	13	22	30	50	50	47	32	27
200	0,5	4	6	9	17	17	12	9	8
	1,0	6	9	16	30	28	20	15	14
	1,5	8	13	21	40	40	26	19	18
	2,0	9	17	27	50	49	32	24	21
250	0,5	3	5	8	17	16	9	7	6
	1,0	4	8	14	30	28	15	12	11
	1,5	6	11	19	40	39	20	17	16
	2,0	7	15	25	50	49	25	20	17
315	0,5	3	5	9	17	12	8	7	6
	1,0	4	8	15	28	20	13	11	10
	1,5	6	11	20	40	29	18	14	13
	2,0	7	15	27	50	35	20	16	15
400	0,5	2	4	9	12	10	7	6	5
	1,0	3	7	15	20	16	11	9	8
	1,5	3,5	9	19	28	21	14	11	10
	2,0	4	10	26	35	24	16	12	11
500	0,5	1	3	8	11	8	6	5	4
	1,0	2	5	13	17	12	10	8	7
	1,5	2,5	7	18	25	16	13	10	8
	2,0	3	9	24	32	19	15	11	10

Обычно определяющими являются среднегеометрические частоты 125–500 Гц. В большинстве случаев длина глушителя не должна превышать 2 м. При требуемой длине 2,5–3 м и более глушитель нужно разбить на 2–3 части, устанавливаемые друг от друга на расстоянии 0,8–1 м.

Глушители шума целесообразно устанавливать по возможности близко к вентилятору, чтобы ограничить до минимума шум, проникающий через стенки воздуховодов в помещения, через которые они проходят.

Таблица 7.5

Характеристики трубчатых глушителей прямоугольного сечения
(рис. 7.6, б)

Внутреннее сечение, мм	Расчетная длина, м	Снижение УЗМ, дБ, в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
200×100	0,5	2	7	10	18	20	16	10	8
	1	3	11	28	32	35	29	18	13
	1,5	4	13	22	37	39	34	25	19
	2	5	15	25	43	46	40	30	23
300×200	0,5	1	5	8	17	15	9	7	6
	1,0	1,5	7	14	28	26	16	11	9
	1,5	1,5	9	19	35	34	21	13	12
	2	2,5	10	23	42	40	25	15	14
400×200	0,5	1	4	6	14	12	8	6	4
	1,0	1,5	6	11	25	22	13	10	7
	1,5	1,5	8	14	35	29	18	11	9
	2,0	2,5	9	18	42	40	22	14	12
400×300	0,5	0,5	3	5	13	11	7	4	3
	1	1	4,5	8	21	19	12	6	5
	1,5	1,5	6	11	29	25	14	9	8
	2	2	7	15	35	30	16	14	10
400×400	0,5	0,5	2	4	12	8	5	4	3
	1	1	3	7	20	15	9	6	5
	1,5	1,5	5	10	27	21	12	8	7
	2	1,5	6	14	33	27	15	10	9

Гидравлическое сопротивление глушителей определяется по формуле

$$\Delta H = \left(\xi_{\text{гл}} + \frac{\lambda L_{\text{гл}}}{D_{\text{г}}} \right) \frac{\rho v^2}{2}, \quad (7.4.4)$$

где $\xi_{\text{гл}}$ – коэффициент местного сопротивления глушителя;
 λ – коэффициент трения;
 $L_{\text{гл}}$ – длина глушителя, м;
 $D_{\text{г}}$ – гидравлический диаметр, м;
 ρ – плотность воздуха, кг/м³;
 v – скорость воздуха в свободном сечении глушителя, м/с.

8. ЗАЩИТА ОТ ПЫЛЕГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ

Повышенная запыленность и загазованность, повышенная или пониженная влажность, повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны оказывают вредное воздействие на организм человека, вызывают снижение его работоспособности, увеличение травматизма и профессиональных заболеваний. Основными источниками теплоты, влаги и различных веществ, ухудшающих состояние воздушной среды, являются разнообразные технологические процессы.

Нормативные значения параметров микроклимата и требования к составу воздуха рабочей зоны определены ГОСТ 12.1.005–88 «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования», а также «Санитарными нормами микроклимата производственных помещений № 4088–86» и СНиП 2.04.05–86 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Обеспечение нормативных значений параметров воздуха рабочей зоны достигается применением систем вентиляции и кондиционирования. Наиболее распространенным и эффективным способом улавливания вредных веществ непосредственно у мест их образования является применение аспирационных устройств, в частности местных отсосов.

8.1. Классификация местных отсосов

По степени изоляции области действия отсоса от окружающего пространства различают отсосы открытого типа и отсосы от полных укрытий (рис. 8.1).

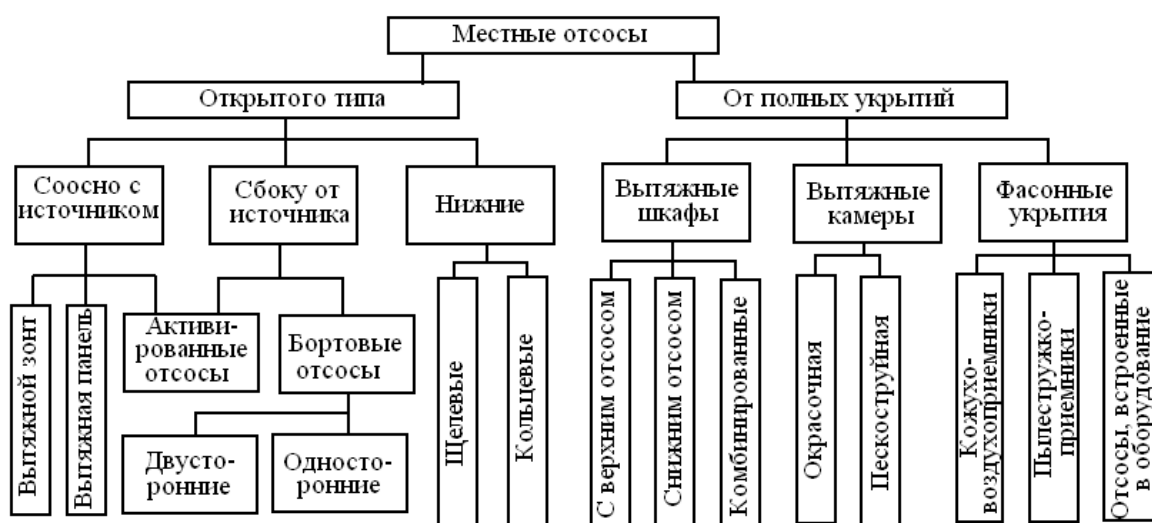


Рис. 8.1. Классификация местных отсосов

Отсосы открытого типа – это отсосы, находящиеся за пределами источников выделения вредных веществ. Это вытяжные зонты, вытяжные панели, бортовые отсосы и другие устройства. В ряде случаев для отделения зоны выделения вредных веществ от незагрязненного объема воздуха используют плоскую приточную струю, которая обеспечивает сдув вредных веществ в зону эффективного действия отсоса и усиливает подсасывающее действие последнего за счет эжекции. Такие отсосы получили название активированных.

Отсосы от полных укрытий – это отсосы, внутри которых находятся источники выделений вредных веществ. Движение газа над источниками в ограниченных объемах с рабочими проемами и неплотностями существенным образом отличается от имеющего места в условиях свободного развития. Такими отсосами являются вытяжные шкафы, фасонные укрытия при обработке вращающихся изделий, кожухи и вытяжные камеры, герметично или плотно закрывающие технологическое оборудование.

Отсосы открытого типа следует применять в тех случаях, когда по технологическим или иным причинам источник не может быть снабжен полным укрытием, которое является наиболее эффективным средством оздоровления воздушной среды.

Существенное влияние на выбор конструкции отсоса оказывают причины и характер движения выделений вредных веществ около источников. Последние разделяются на тепловые, динамические, диффузионные и смешанные.

Движение около тепловых источников происходит за счет тепловой энергии, подводимой к ним. Выделения вредных веществ распространяются в виде направленного потока – конвективной струи, как правило, турбулентной. Конвективные струи разделяются на участки: начальный, или разгонный (участок формирования), на котором осевая скорость возрастает от нуля на поверхности источника до некоторого максимального значения, и основной, где осевая скорость убывает или остается постоянной с удалением от источника. Длина разгонного участка приближенно может быть принята равной 1,5–2 калибрам теплового источника.

Движение около динамических источников обусловлено перепадом давлений, что приводит к образованию приточной струи. Приточная струя – это струя, обладающая некоторой минимальной скоростью истечения за счет избыточного давления внутри объема сосуда, аппарата. Приточная струя состоит из начального и основного участков. Длина начального участка, в пределах которого сохраняются постоянными скорость и температура на оси струи, равна примерно шести калибрам отверстия.

Диффузионные потоки обусловлены градиентом концентрации газовой примеси. Направление и интенсивность распространения последней зависит от диффузионных характеристик вещества и турбулентности окружающей среды.

Различные причины движения нередко действуют совместно. Например, источник теплоты выделяет также и газовые примеси, загрязненная приточная струя сильно нагрета и т. п. Во всех случаях необходимо уметь оценить влияние каждой причины на закономерности движения и правильно выбрать конструкцию отсоса.

По форме в плане источники и приемные отверстия отсосов могут быть круглые, прямоугольные и щелевые. В соответствии с этим струи могут быть компактные и плоские. В пределах начального (разгонного) участка конвективная струя считается компактной, если она образуется над тепловым источником, имеющим в плане круглую форму или форму прямоугольника с соотношением сторон $a:b = 2$. Если тепловой источник вытянутый ($a:b > 2$), то образующуюся над ним конвективную струю следует считать плоской. Компактной считается приточная струя, истекающая из отверстия круглой или квадратной формы; плоской – струя, истекающая из щелевого отверстия.

Приведенная классификация учитывает основные закономерности и существенные особенности потоков выделений вредных веществ над источниками. При решении практических задач приходится сталкиваться с более разнообразными и сложными формами источников, однако при выборе расчетных схем и формул следует приводить их к одному из рассмотренных видов.

При выборе и конструктивной проработке местного отсоса необходимо руководствоваться следующими основными положениями:

- элементы отсоса и укрытий должны составлять единое целое с конструкцией технологического аппарата и не мешать проведению технологического процесса;

- всасывающее отверстие должно быть максимально приближено к источнику выделений вредных веществ;

- размеры приемного отверстия должны быть равными или несколько большими размеров подтекающей к отсосу струи; уменьшение размеров отсоса ведет к увеличению потребного расхода воздуха;

- зону действия отсоса следует максимально ограничивать фланцами, экранами, ширмами и т. п.;

- ориентация приемного отверстия в пространстве должна производиться с учетом возможно меньшего отклонения потока выделений вредных веществ от естественного направления движения;

– при определении направления движения потока выделений вредных веществ следует следить за тем, чтобы они не проходили через зону дыхания работающих;

– препятствиям на пути движения воздуха к отсосу следует придавать форму, при которой сопротивление их будет минимальным (острые кромки скруглять и т. д.);

– поле скоростей в приемном отверстии отсоса рекомендуется устраивать соответствующим полем скоростей в подтекающем потоке выделений вредных веществ; для этого следует использовать вставки, рассекатели, выравнивающие решетки и т. п.

8.2. Местные отсосы открытого типа

Вытяжные зонты. По направлению движения выделений вредных веществ различают отсосы, расположенные соосно с источником, и отсосы, расположенные сбоку от источника.

К отсосам первого типа относятся вытяжные зонты, отсасывающие воронки и т. п. Зонты устанавливаются, как правило, над сосредоточенными источниками тепло- и влаговывделений, над источниками вредных веществ, выделяющихся вместе с теплотой. Применять зонты можно при незначительной подвижности воздуха в помещении, так как поток воздуха, направляемый под зонт, может отклоняться. Для обеспечения устойчивой работы зонтов их снабжают съемными или откидными фартуками с одной, двух или трех сторон и располагают на оси (плоскости) симметрии источника на минимально возможной высоте h (см. рис. 8.2).

При конструировании зонтов следует делать с центральным углом раскрытия не более 60° и приемным отверстием, перекрывающим (в плане) источник выделений вредных веществ. Размеры зонта в плане выбирают в зависимости от характера движения выделений вредных веществ. Для улавливания конвективных струй $B=1,2b$ или $R=1,2r$. Для улавливания приточных струй $B=b+0,24h$ или $R=r+0,24h$. Длинную сторону приемного отверстия отсоса рекомендуется принимать $A=a+0,24h$.

При наличии над источником выделений вредных веществ устойчивого струйного течения рекомендуется внутри зонта устанавливать коническую вставку, а по периметру корпуса устраивать кольцевой уступ (см. рис. 8.2, б). Коническая вставка обеспечивает качественное соответствие профилей скоростей в приемном отверстии и в подтекающей струе. Действие всасывающего факела при этом сосредоточивается в центре течения, что увеличивает устойчивость струи по отношению к неорганизованным потокам в помещении. Кольцевой уступ позволяет достичь эффективного всасывания практически по всей площади приемного отверстия, так как вихревые зоны локализуются в уступах.

В этом случае рекомендуются следующие соотношения размеров зонта: $R_1 = 0,8...0,85R$; $R_2 = 0,55...0,6R$; $R_4 = 0,7R_3$; $\Delta h = 1,2...1,4(R_2 - R_1)$ размеры R , R_3 и H назначаются из конструктивных соображений.

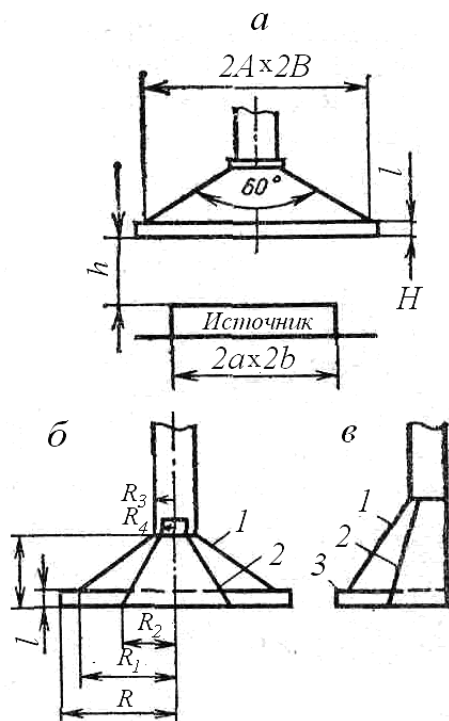


Рис. 8.2. Схемы отсосов, расположенных соосно с источником: *a* – зонт с прямоугольным приемным отверстием; *б* – зонт с неравномерным всасыванием по площади приемного отверстия; *в* – зонт-козырек; 1 – корпус отсоса; 2 – вставка, обеспечивающая неравномерность всасывания; 3 – уступы для локализации зон завихрения

Расчет вытяжных зонтов. Для расчета отсосов, улавливающих конвективные струи в пределах разгонного участка (компактная струя $h < 4r$, плоская струя $h \leq 4b$), и для расчета отсосов, улавливающих приточные струи в пределах основного участка (компактная $h \geq 12r$ и плоская струи $h \geq 12b$).

Исходными данными для расчета являются: размеры источника выделений вредных веществ r , м, или $2a \times 2b$; производительность источника по теплоте Q , Вт, или скорость истечения загрязненной приточной струи u_0 , м/с; скорость движения воздуха в помещении w_v , м/с; высота расположения отсоса h , м; его размеры R , м, или $2A \times 2B$; производительность источника по газовым выбросам G , мг/с; приходящееся на один отсос количество газовой примеси, выделяющейся в единицу времени от рассредоточенных источников, не снабженных местными отсосами, C_p , мг/с; приходящийся на один отсос расход воздуха, удаляемого из помещения общеобменной вентиляцией, L_s , м/с.

Расчет осуществляется в следующей последовательности:

1. Вычисляют осевую скорость u_m и расход воздуха в струе на уровне всасывания $L_{стр}$. Если компактный источник имеет прямоугольную форму, то при расчете вместо r используют эквивалентный по площади радиус $r_э$, вычисляемый по формуле $r_э = 1,128\sqrt{ab}$.

2. Определяют значение поправочного коэффициента, учитывающего подвижность воздуха в помещении:

$$h_{п} = 1 + \left(3 - \frac{F}{F_{стр}} \right) \frac{w_{в}}{u_m},$$

где F – площадь всасывающего отверстия, m^2 ;

$F_{стр}$ – площадь сечения затопленной струи, m^2 .

При вычислении $F_{стр}$ следует иметь в виду, что на разгонном участке конвективной струи площадь ее сечения равна площади источника в плане. Угол расширения границ затопленной приточной струи $\alpha = 13,5^\circ$. Если по расчету значение F получается меньше $F_{стр}$, то следует принимать отношение $F/F_{стр} = 1,0$.

3. По графикам на рис. 8.3 и 8.4 находят относительный предельный расход отсоса $L_{пр.от}$. В качестве относительных размеров используются при расчете улавливания конвективной струи $R = R/r$, $B = B/b$, при расчете улавливания приточной струи $R = R/h$, $B = B/h$.

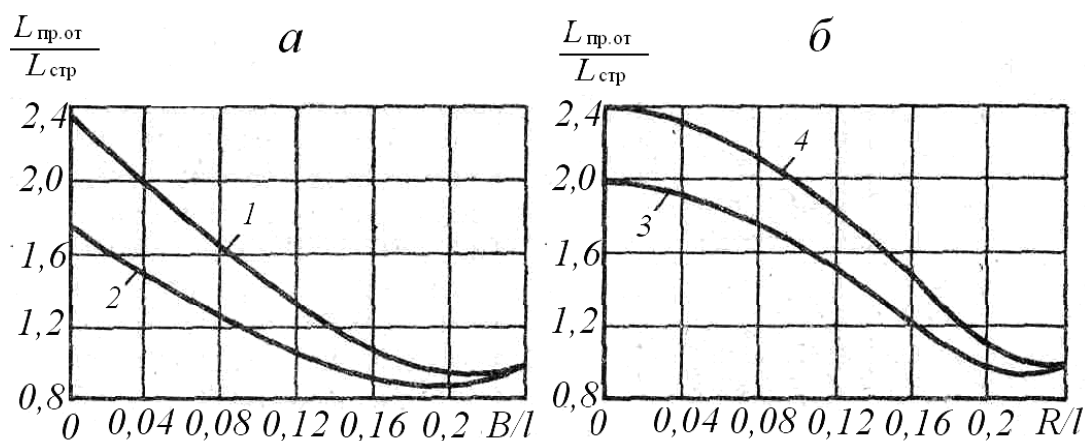


Рис. 8.3. Относительный предельный расход отсоса, улавливающего приточную струю, в зависимости от его размера: a – плоская приточная струя; $б$ – осесимметричная струя – круглый отсос; 1 – щелевой отсос в виде свободно расположенного патрубка; 2 – щелевой отсос в стенке; 3 – круглый отсос в стенке; 4 – отсос в виде свободно расположенного круглого патрубка

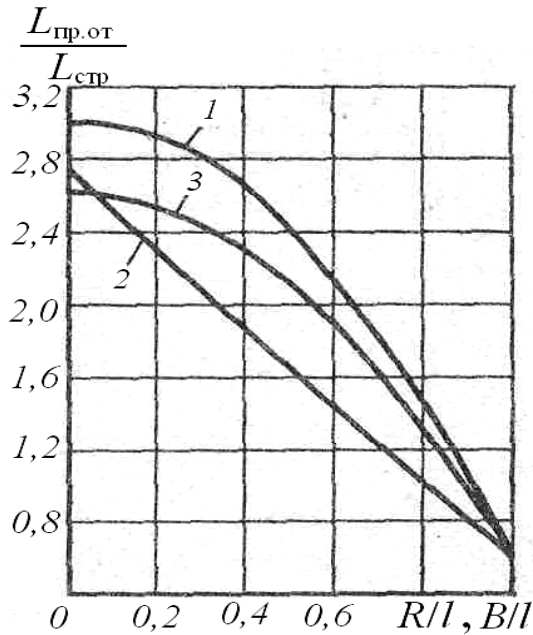


Рис. 8.4. Относительный предельный расход отсоса, улавливающего конвективную струю (разгонный участок), в зависимости от его размера: 1 – круглые отсос в виде свободно расположенного патрубка; 2 – щелевой отсос в стенке; 3 – круглый отсос в стенке

4. Вычисляют предельный расход отсоса, обеспечивающий полное улавливание струи при минимальной производительности отсоса,

$$L_{пр.от} = k_{п} L_{стр} L_{лр.от}$$

5. Находят предельную (максимальную) $c_{пред}$ и относительную предельную избыточную $\Delta c_{пред}$ концентрации вредных веществ в удаляемом отсосом воздухе, соответствующие режиму предельного улавливания:

$$c_{пред} = \frac{G}{L_{пр.от}} + c_{пр}, \text{ мг/м}^3;$$

$$\Delta c_{пред} = \frac{c_{пред} - c_{пр}}{ПДК - c_{пр}}, \text{ мг/м}^3,$$

где $c_{пр}$ – концентрация вредной примеси в приточном воздухе общеобменной вентиляции, мг/м^3 ;

ПДК – предельно допустимая концентрация вредной примеси в воздухе рабочей зоны, мг/м^3 .

6. Вычисляют значение безразмерного комплекса:

$$M = \frac{G_p}{G} \Delta c_{пред} - \frac{L_{в}}{L_{пр.от}}$$

7. По графику (рис. 8.5) находят оптимальное значение эффективности улавливания вредных веществ $\eta_{opt} = G_y / G$ и соответствующее значение $k_\eta = L_{от} / L_{пр.от}$. Значение величин η и k_η может быть определено также решением системы уравнений

$$\begin{cases} M = k_\eta - (1 - \eta)\Delta c_{пред}; \\ \eta = 1 - \exp(-2,52k_\eta). \end{cases}$$

Если источник выделяет только теплоту, то принимают $k_\eta = 1,0$. Если рассчитанное значение k_η окажется меньше единицы (в непосредственной близости от источника образуются зоны с повышенной концентрацией вредных веществ), то необходимо увеличение объема отсасываемого воздуха, поэтому всегда рекомендуется соблюдать условие $k_\eta \geq 1,0$.

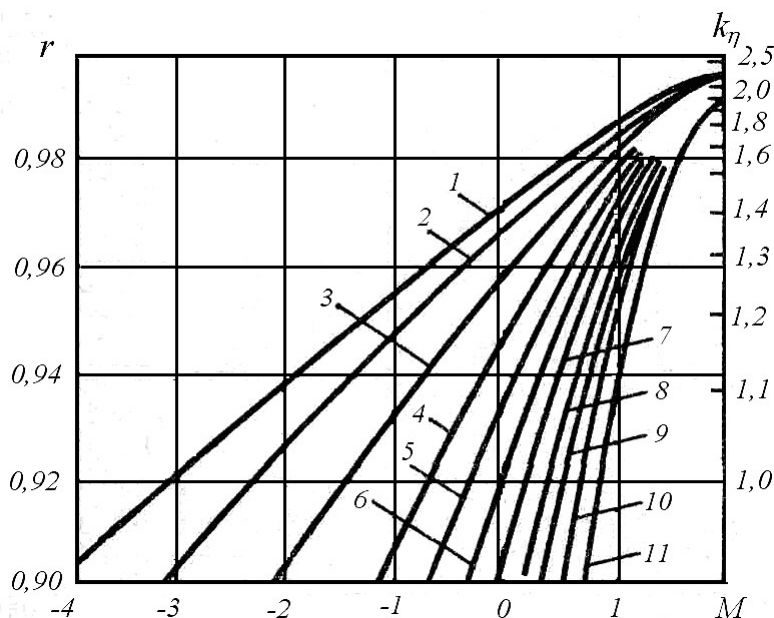


Рис. 8.5. График для определения η_{opt} и k_η :

1 – $\Delta c_{пред} = 50$; 2 – $\Delta c_{пред} = 40$; 3 – $\Delta c_{пред} = 30$; 4 – $\Delta c_{пред} = 20$; 5 – $\Delta c_{пред} = 16$;
6 – $\Delta c_{пред} = 12$; 7 – $\Delta c_{пред} = 10$; 8 – $\Delta c_{пред} = 8$; 9 – $\Delta c_{пред} = 6$; 10 – $\Delta c_{пред} = 4$; 11 – $\Delta c_{пред} = 2$

8. Определяют требуемую производительность отсоса, обеспечивающую оптимальную эффективность улавливания вредных веществ, $L_{от} = L_{пр.от} k_\eta$.

9. В случае необходимости можно подсчитать количество уловленных G_y и концентрацию c_y выделений вредных веществ в воздухе, отсасываемых местным отсосом:

$$G_y = G \eta_{opt}, \text{ мг/с}; \quad c_{уд} = \frac{G_y}{L_{от}}, \text{ мг/м}^3.$$

9. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Пожаровзрывобезопасность производственных помещений и технологического оборудования во многом определяется наличием горючих газов (ГГ), паров легковоспламеняющихся жидкостей, паров горючих жидкостей (ГЖ) и горючих пылей (ГП). Пожарная безопасность объекта обеспечивается системой предотвращения пожара, системой противопожарной защиты и организационно-техническими мероприятиями. Требования к указанным системам и комплексе организационно-технических мероприятий определены ГОСТ 12.1.004–85. Системы предотвращения пожара и противопожарной защиты в совокупности должны исключать воздействие на людей опасных факторов пожара (ОФП)

В целях предотвращения пожара используются аварийная вытяжная вентиляция и молниезащита зданий и сооружений.

9.1. Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов

К основным показателям пожаровзрывоопасности веществ и материалов (см. табл. 9.1) относятся:

– нижний (НКПВ) и верхний (ВКПВ) концентрационные пределы воспламенения (распространения пламени) газов, паров и горючих пылей, определяемые экспериментально или расчетом в соответствии с ГОСТ 12.1.041–83, ГОСТ 12.1.044–84;

– температура вспышки, самовоспламенения и воспламенения горючих жидкостей, определяемые экспериментально или расчетом по ГОСТ 12.1.044–84;

– минимальная энергия зажигания смесей горючих газов и паров с воздухом и аэрозвесей горючих пылей, рассчитываемая на основе методик института противопожарной охраны.

При отсутствии справочных данных допускается определение этих показателей на основании результатов испытаний или расчетов по стандартным методикам с учетом параметров состояния. Допускается использование справочных данных, опубликованных головными научно-исследовательскими организациями в области пожарной безопасности или выданных Государственной службой стандартных справочных данных.

9.2. Определение вероятности воздействия опасных факторов пожара на работающих

Системы предотвращения пожара и системы противопожарной защиты должны исключить воздействие на работающих опасных факто-

ров пожара Нормативная вероятность Q_B^H воздействия ОФП не должна превышать 10^{-6} в год в расчете на каждого человека. Уровень обеспечения безопасности работающих при пожарах отвечает требованиям, если расчетная вероятность воздействия ОФП соответствует соотношению

$$Q_B \leq Q_B^H. \quad (9.1)$$

Таблица 9.1

Показатели пожаровзрывоопасности химических веществ

Химические вещества	M	Характеристика пожаро-взрывоопасности	$t_{всп}$	$t_{св}$	НКПВ	ВКП В
			°С			
1	2	3	4	5	6	7
Аммиак	17,03	ГГ	–	650	15	28
Анилин	93,13	ГЖ	73	617	1,3	7,5
Ацетальдегид	44,05	ТГ	–40	172	4,1	57
Ацетилен	26,04	ВГ и ГГ	–	335	2,5	81
Ацетон	58,08	ЛВЖ	–18	540	2,9	13
Бензол	78,11	ЛВЖ	–11	562	1,43	8,0
Бутан	58,12	ГГ	–69	405	1,8	8,5
Бутиловый спирт	74,12	ГГ	35	340	1,8	10,9
Водород	2,016	ГГ	–	510	4,12	75
Гексан	86,177	ЛВЖ	–23	243	1,24	6,9
Гидразин	32,05	ЛВЖ, ВЖ	40	132	4,7	100
Глицерин	92,1	ГЖ	198	400	2,6	11,3
Диметилгидразин	60,0	ЛВЖ	–16	249	2	95
1,2-Дихлорэтан	98,96	ЛВЖ	9	413	6,2	16
Изобутиловый спирт	74,12	ЛВЖ	28	390	1,81	11,4
Изопропилбензол	152,19	ГЖ, ВЖ	60	220	–	–
Изопропиловый спирт	60,09	ЛВЖ	14	430	2,23	12,7
Ксилол	106,17	ЛВЖ	29	590	1,1	6,5
Метан	16,04	ГГ	–181	537	5,28	14,1
Метиловый спирт	32,04	ЛВЖ	6	440	6,98	35,5

Окончание табл. 9.1

1	2	3	4	5	6	7
Оксид углерода	28,01	ГГ	–	605	12,5	74
Пентан	72,16	ЛВЖ	–44	286	1,47	7,7
Пропан	44,096	ГГ	–	470	2,3	9,4
Пропилен	42,08	ГГ	–	455	2,4	11,0
Сероводород	34,08	ГГ	–	246	4,3	46,0
Сероуглерод	76,14	ЛВЖ	–43	102	1,0	50,0
Толуол	92,14	ЛВЖ	7	536	1,27	6,8
Уксусная кислота	60,05	ЛВЖ	40	465	4,0	19,9
Формальдегид	30,03	ГГ	–	430	7	73
Хлорбензол	112,56	ЛВЖ	29	638	1,4	9,8
Хлорэтан	64,51	ГГ	–	510	3,8	15,4
Циклогексан	84,16	ЛВЖ	–17	259	1,3	7,8
Этан	30,07	ГГ	–	515	2,9	15
Зтилацетат	88,11	ЛВЖ	–3	456	2,0	11,4
Зтилбензол	106,16	ЛВЖ	20	420	1,0	6,8
Этилен	28,05	ГГ	–	480	2,7	34
Этиленгликоль	62,1	ГЖ	111	412	4,3	–
Этиловый спирт	46,07	ЛВЖ	13	400	3,61	17,77

Обозначения: M – условная молярная масса; $t_{всп}$ – температура вспышки в закрытом тигле; $t_{вс}$ – температура самовоспламенения; ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость, т. е. жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в закрытом тигле) или $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в открытом тигле); ГЖ – горючая жидкость, т. е. жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в закрытом тигле) или $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в открытом тигле); ВГ – взрывоопасный газ; ГГ – горючий газ, т. е. газ, способный образовывать с воздухом воспламеняемые и взрывоопасные смеси при температуре не выше $55\text{ }^{\circ}\text{C}$; ВЖ – взрывоопасная жидкость.

Для эксплуатационных объектов (зданий, сооружений) расчетную вероятность Q_v вычисляют с использованием статистических данных по формуле

$$Q_{\text{в}} = 1,5 \frac{M_{\text{ж}}}{TN_0},$$

где $M_{\text{ж}}$ – число жертв пожара в рассматриваемой однотипной группе зданий за период T ;

T – рассматриваемый период эксплуатации однотипных зданий, год;

N_0 – общее число людей, находящихся в здании (сооружении).

Однотипными считаются здания с одинаковой категорией пожарной опасности (см. подразд. 9.7), одинакового функционального назначения и с близкими основными параметрами: геометрическими размерами, конструктивными характеристиками, количеством горючей нагрузки, вместимостью (число людей в здании), производственными мощностями.

Для проектируемых зданий вероятность воздействия ОФП оценивают первоначально по формуле

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{п}}(1 - P_{\text{п.з}}), \quad (9.2)$$

где $Q_{\text{п}}$ – вероятность возникновения пожара в здании, лет;

$P_{\text{п.з}}$ – вероятность эффективного срабатывания противопожарной защиты, вычисляемая по формуле

$$P_{\text{п.з}} = 1 - \prod_{e=1}^n (1 - R_e),$$

где n – число технических решений противопожарной защиты в здании;

R_e – вероятность эффективного срабатывания e -го технического решения; по данным ВНИИПО, $R_e = 0,7 \div 0,8$.

Если при использовании формулы (9.2) условие (9.1) не соблюдается, то необходимо расчет $Q_{\text{в}}$ выполнять с учетом вероятности $P_{\text{э}}$ эвакуации людей из здания по формуле

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{п}}(1 - P_{\text{э}})(1 - P_{\text{п.з}}).$$

Вероятность эвакуации вычисляют по формуле

$$P_{\text{э}} = 1 - (1 - P_{\text{э.п}})(1 - P_{\text{дв}}),$$

где $P_{\text{э.п}}$ – вероятность эвакуации по эвакуационным путям;

$P_{\text{дв}}$ – вероятность эвакуации по наружным эвакуационным лестницам и переходам в смежные секции зданий; при наличии наружных эвакуационных лестниц и других путей $P_{\text{дв}} = 0,03$, при отсутствии таких путей эвакуации $P_{\text{дв}} = 0,001$.

Вероятность эвакуации $P_{э.п}$ вычисляют по зависимостям:

$$\begin{aligned} \text{Если } t_p < \tau_{\text{бл}} < t_p + \tau_{\text{н.э}}, \text{ то } P_{э.п} &= (\tau_{\text{бл}} - t_p) / \tau_{\text{н.э}}; \\ \text{Если } t_p + \tau_{\text{н.э}} \leq \tau_{\text{бл}}, \text{ то } P_{э.п} &= 0,999; \\ \text{Если } t_p \geq \tau_{\text{бл}}, \text{ то } P_{э.п} &= 0. \end{aligned}$$

Здесь $\tau_{\text{бл}}$ – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей, мин; определяется расчетом значений ОФП на эвакуационных путях в различные моменты времени;

t_p – расчетное время эвакуации людей, мин; определяется как сумма времени движения потока людей по отдельным участкам путей эвакуации;

$\tau_{\text{н.э}}$ – интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин; при наличии в зданиях системы оповещения о пожаре значение $\tau_{\text{н.э}}$ принимают равным времени срабатывания системы с учетом ее инерционности. При отсутствии необходимых исходных данных для определения $\tau_{\text{н.э}}$ в зданиях без системы оповещения следует принимать для этажа пожара – 0,5 мин, вышележащих этажей – 2 мин и зальных помещений – 0 мин.

Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей $\tau_{\text{бл}}$ допускается принимать равным необходимому времени эвакуации $t_{\text{нб}}$, мин, которое зависит от категории пожарной опасности помещения и его объема (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Время эвакуации $t_{\text{нб}}$, мин

Категория помещения	Объем помещения, м ³				
	до 15	30	40	50	60 и более
А, Б	0,5	0,75	1	1,5	1 Д
В	1,25	2	2	2,5	3
Г, Д	Не ограничивается				

Для зальных помещений, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми, вероятность $P_{э.п}$ имеет значения:

$$P_{э.п} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_p \leq t_{\text{нб}}; \\ 0 & \text{если } t_p > t_{\text{нб}}. \end{cases}$$

Допускается оценивать уровень обеспечения безопасности работающих в здании по значению вероятности Q_v в одном или нескольких

помещениях, наиболее удаленных от выходов в безопасную зону (например, верхние этажи).

Вероятность возникновения пожара в объекте рассчитывают по формуле

$$Q_n = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_{п.п.i}),$$

где n – число помещений в объекте;

$Q_{п.п.i}$ – вероятность возникновения пожара в i -м положении объекта в течение года.

Вероятность $Q_{п.п.i}$, обусловленная возникновением пожара в i -м помещении или в одном из технологических аппаратов, находящихся в этом помещении, определяется по формуле

$$Q_{п.п.i} = 1 - \left[\prod_{j=1}^m (1 - Q_{ап.j}) \right] (1 - Q_{п.о.i}),$$

где m – число технологических аппаратов в помещении;

$Q_{ап.j}$ – вероятность возникновения пожара в j -м технологическом аппарате, установленном в этом помещении, в течение года;

$Q_{п.о.i}$ – вероятность возникновения пожара непосредственно в объеме i -го помещения в течение года.

Вероятности $Q_{ап.j}$ и $Q_{п.о.i}$ обусловлены совместным образованием в элементе объема аппарата или помещения горючей смеси и появлением источника зажигания, поэтому $Q_{ап.j} = Q_{г.с.j} \cdot Q_{и.з.j}$, где $Q_{г.с.j}$ – вероятность образования горючей смеси в j -м технологическом аппарате; $Q_{и.з.j}$ – вероятность появления источника зажигания в этом технологическом аппарате; $Q_{п.о.i} = Q_{г.с.i} \cdot Q_{и.з.i}$, где $Q_{г.с.i}$ – вероятность образования горючей смеси в объеме i -го помещения в течение года; $Q_{и.з.i}$ – вероятность появления источника зажигания в объеме помещения в течение года.

9.3. Расчет вероятности образования горючей смеси

Образование горючей смеси (горючее + окислитель) в рассматриваемом элементе объекта обусловлено совместным появлением в нем достаточного количества горючего вещества и окислителя с учетом параметров состояния (температуры, давления и др.):

$$Q_{г.с.i} = Q_{г.i} \cdot Q_{о.i},$$

где $Q_{г.i}$ – вероятность появления достаточного для образования горячей смеси количества горючего вещества в i -м элементе объекта в течение года;

$Q_{о.i}$ – вероятность появления достаточного для образования горячей смеси количества окислителя в i -м элементе объекта в течение года; для производственных помещений $Q_{о.i} = 1$.

Определение количества горючего вещества (газа, пара, пыли) необходимо для установления их концентраций в объеме помещения и сравнения их значений с концентрационными пределами воспламенения (НКПВ, ВКПВ). Значения концентрационных пределов воспламенения представлены в табл. 9.1.

Появление в элементе объема горючего вещества должно учитывать все режимы технологического процесса (пуск, режим нормальной работы, останов, ремонт и т. п.), а также все виды горючего вещества (твердое, жидкое, газообразное и т. п.).

Вероятность $Q_{г.i}$ появления в элементе объекта конкретного горючего вещества определяется нарушением технологического процесса (разгерметизация, химическая реакция и т. п.) и рассчитывается по формуле

$$Q_{г.i} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - Q_{отк.k}), \quad (9.3)$$

где $Q_{отк.k}$ – вероятность реализации любой из K причин нарушения технологического процесса.

Для эксплуатируемых объектов $Q_{отк.k}$ определяют на основе статистических данных, а для проектируемых

$$Q_{отк.k} = 1 - \exp(-\lambda\tau),$$

где λ – интенсивность отказов производственного оборудования (изделия), $ч^{-1}$;

τ – общее время работы оборудования за анализируемый период времени (год), ч.

Средние значения интенсивности отказов $\lambda \cdot 10^6$, $ч^{-1}$, некоторых элементов гидравлических и пневматических устройств (по данным ГОСТ 12.1.004–85) приведены ниже:

Средние значения интенсивности отказов $\lambda \cdot 10^6$, $ч^{-1}$	
Задвижки клапанов	5,1
Клапаны:	
рычажные	4,6
дренажные	0,224

ручные переключающие	6,5
Манометры	1,3
Моторы гидравлические	4,3
Насосы с машинным приводом	8,74
Прокладки:	
пластмассовые	0,05
резиновые	0,02
Регуляторы давления	4,25
Резервуары гидравлические	0,15
Сильфоны	2,287
Соединения:	
гидравлические	0,03
пневматические	0,04
Трубопроводы	1,1
Шланги:	
высокого давления	3,93
гибкие	0,067
Предохранительные мембраны	0,0112

Вероятность Q_{oi} для проектируемого технологического оборудования определяется аналогично Q_{Gi} по формуле (9.3).

9.4. Расчет вероятности появления источника зажигания

Вероятность появления источника зажигания $Q_{н.з.i}$ или $Q_{н.з.j}$ вычисляются по формуле

$$Q_{н.з.i} = Q_{н.з.т.i} Q_{н.з.э.i} Q_{н.з.в.i},$$

где $Q_{н.з.т.i}$ – вероятность появления в течение года в i -м элементе объекта теплового источника;

$Q_{н.з.э.i}$ – условная вероятность того, что энергия (температура) этого источника достаточна для зажигания горючей смеси, находящейся в i -м элементе объекта;

$Q_{н.з.в.i}$ – условная вероятность того, что время контакта теплового источника с горючей средой достаточно для ее воспламенения.

Вероятность появления $Q_{н.з.т.i}$ теплового источника зависит от количества M тепловых источников и вероятности появления каждого из них в i -м элементе объекта. Определяется по формуле

$$Q_{н.з.т.i} = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - Q_{т.m}),$$

где $Q_{т.м}$ – вероятность появления в i -м элементе объема в течение года m -го теплового источника.

Вероятность $Q_{н.з.э.i}$ принимают равной 1 или 0 в зависимости от результатов сравнения параметров теплового источника с показателями пожарной опасности горючей смеси. Если температура теплового источника выше 80 % значения температуры самовоспламенения вещества, то $Q_{н.з.э.i} = 1$, в остальных случаях $Q_{н.з.э.i} = 0$. Если реализуется случай воспламенения, называемый зажиганием, то характерной величиной процесса воспламенения является энергия, передаваемая источником зажигания горючему веществу. Если переданная энергия выше 40 % значения минимальной энергии зажигания горючего вещества (паро-, газо- и пылевоздушной смеси), то $Q_{н.з.э.i} = 1$, в остальных случаях $Q_{н.з.э.i} = 0$. Для твердых и жидких горючих веществ $Q_{н.з.э.i} = 1$, если за время остывания теплового источника он способен нагреть горючее вещество выше температуры его воспламенения. В остальных случаях $Q_{н.з.э.i} = 0$.

Вероятность $Q_{н.з.т.i}$ того, что время контакта теплового источника с горючей средой достаточно для ее воспламенения, принимают равной 1, если тепловой источник за это время успеет нагреть горючую среду до температуры воспламенения (самовоспламенения) или нагреть горючее вещество до температуры, превышающей 80 % значения температуры самовоспламенения. В остальных случаях $Q_{н.з.т.i} = 0$.

Источниками теплового воздействия на горючую среду в промышленных условиях являются следующие причины:

1. Разряды атмосферного электричества (молния).

2. Электрические искры, которые могут появляться при коротком замыкании электропроводки, при проведении электросварочных работ, при искрении электрооборудования, при разрядах статического электричества. Размеры капель металла достигают 5 мм при электросварке и 3 мм при коротком замыкании электропроводки. Температура капель металла при электросварке близка к температуре плавления, а капля металла, образующихся при коротком замыкании электропроводки, выше температуры плавления, например для алюминия она достигает 2500 °С. Температуру капли в конце ее полета от источника образования до поверхности горючего вещества принимают в расчетах равной 800 °С.

Количество теплоты, отдаваемой каплей металла твердому или жидкому горючему веществу, определяют по формуле

$$q = V_k \rho_k c_k (t_k - t_{св}),$$

где V_k – объем капли, м³;

ρ_k – плотность металла, кг/м³;

c_k – теплоемкость металла при температуре $(t_k + t_{cb})/2$, Дж/(кг · К);
 t_k – температура капли, °С.

Термическое действие токов короткого замыкания обусловлено температурой проводника, определяемой по формуле

$$t = t_H + \frac{I^2 R \tau}{c_{пр} m_{пр}},$$

где t_H – начальная температура проводника, °С;

I – ток короткого замыкания, А;

R – сопротивление проводника, Ом;

$c_{пр}$ – теплоемкость проводника, Дж/(кг · К);

$m_{пр}$ – масса проводника, кг.

3. Фрикционные искры, которые возникают при применении искроопасного инструмента, при разрушении движущихся узлов и деталей, при применении обуви, подбитой металлическими набойками и гвоздями, при попадании в движущиеся механизмы посторонних предметов и т. п. Размер искр обычно не превышает 0,5 мм, а температура находится в пределах температуры плавления металла.

4. Открытое пламя и искры при сжигании топлива в печах, при проведении огневых работ, несоблюдении режима курения, при неисправности искрогасителей ДВС и т. п. Температура пламени (°С) некоторых горючих веществ и пожароопасных операций приведена ниже

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

5. Нагрев веществ, отдельных узлов и поверхностей технологического оборудования, контактирующих с горючей средой, выше допустимой температуры в результате отказа системы охлаждения, отсутствия смазки и т. п. Температура нагрева колбы электрической лампы накаливания зависит от мощности лампы, ее размеров, времени работы и расположения в пространстве. Зависимость температуры поверхности колбы горизонтально расположенной лампы от ее мощности при времени работы 30 мин и более приведена в ГОСТ 12.1.004–85.

6. Появление в горючем веществе очагов экзотермического окисления или разложения, приводящих к самовозгоранию.

Для каждой группы причин в ГОСТ 12.1.004–85 даны рекомендации по определению вероятности появления теплового источника воздействия.

При разряде атмосферного электричества в элементе объекта возможно воздействие теплового источника на горючую среду трех видов:

а) прямое воздействие молнии (опасность этого воздействия заключается в контакте горючей среды с каналом молнии, температура в котором достигает 20000 °С при времени воздействия около 100 мкс, что достаточно для воспламенения любой горючей среды);

б) вторичное воздействие молнии (опасность возникает из-за искровых разрядов, генерируемых в элементах конструкции в результате индукционного и электромагнитного воздействия атмосферного электричества; энергия искрового разряда превышает 250 мДж и достаточна для воспламенения горючих веществ с минимальной энергией зажигания до 0,25 Дж);

в) занос в здание высокого потенциала по металлическим конструкциям от молниеотвода (энергия возможных искровых разрядов достигает значений 100 Дж и более, что достаточно для воспламенения практически всех горючих веществ).

Вероятность $Q_{\text{т.мол.}i}$ воздействия молнии на i -й элемент объекта вычисляют по формуле

$$Q_{\text{т.мол.}i} = 1 - \prod_{k=1}^3 (1 - Q_{\text{т.мол.}k}),$$

где k – порядковый номер причины воздействия.

Вероятность воздействия прямого удара молнии в объект вычисляют по формуле

$$Q_{\text{т.мол.}1} = Q_{\text{мол.}1} Q_{\text{мол.}2},$$

где $Q_{\text{мол.}1}$ – вероятность прямого удара молнии в объект в течение года;

$Q_{\text{мол.}2}$ – вероятность отказа молниеотвода, защищающего k -й элемент объекта.

Значение $Q_{\text{мол.}1}$ находят по формуле

$$Q_{\text{мол.}1} = 1 - \exp(-N\tau),$$

где N – количество ударов молнии в объект за год;

τ – продолжительность периода наблюдения, год.

Вероятность $S_{\text{мол.}2} = 1$ при отсутствии молниезащиты или ее несоответствия требованиям. При наличии молниезащиты вероятность $S_{\text{мол.}2}$ вычисляют по формуле

$$Q_{\text{мол.2}} = \frac{k_6}{\tau} \sum_{j=1}^m \tau_j + (1 - \beta),$$

где k_6 – коэффициент безопасности, определяемый по рекомендациям приложения 3 ГОСТ 12.1.004–85. При реализации в течение года одного события k_6 принимают равным 1;

τ – анализируемый период времени, мин;

τ_j – время существования неисправности молниеотвода в течение j -го события в течение года, мин;

m – количество неисправных состояний молниезащиты в течение года;

β – вероятность безотказной работы молниезащиты, $\beta = 0,995$ при молниезащите типа А; $\beta = 0,95$ – типа Б.

Вероятность вторичного воздействия молнии $Q_{\text{тмол.2}}$ определяют по формуле

$$Q_{\text{тмол.2}} = Q_{\text{мол.1}} Q_{\text{мол.3}},$$

где $Q_{\text{мол.3}}$ – вероятность отказа защитного заземления в течение года.

Для проектируемых объектов вероятность неисправности защитного заземления не рассчитывают, а принимают $Q_{\text{мол.3}} = 1$ при наличии заземления и $Q_{\text{мол.3}} = 0$ при отсутствии заземления.

Вероятность $Q_{\text{мол.3}}$ заноса высокого потенциала в защищаемый объект вычисляют по формуле

$$Q_{\text{мол.3}} = Q_{\text{мол.1}} Q_{\text{мол.3}}.$$

9.5. Определение категорий помещений и зданий по пожаровзрывоопасности

Нормы государственной противопожарной службы МВД России НПБ 105-95 подразделяют помещения и здания по пожаровзрывной и пожарной опасности на категории А, Б, В, Г, Д. Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий определяются для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода, исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожаровзрывоопасных свойств, особенностей технологического процесса. Допускается использование показателей пожарной опасности для смесей веществ и материалов по наиболее опасному компоненту.

Категорию помещений (см. табл. 9.3) определяют путем последовательной проверки принадлежности помещений к категориям от высшей (А) к низшей (Д).

Для определения категории помещений необходимо установить по справочным данным пожароопасные свойства веществ, смесей и технических продуктов, находящихся в помещении или поступающих в него в момент аварии, выбрать наиболее неблагоприятный вариант аварии, найти массу горючих веществ, находящихся в помещении в момент аварии, и определить величину избыточного давления взрыва.

Таблица 9.3

Категории помещений по пожаровзрывной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А Взрывоопасное	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б Взрывопожароопасное	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В Пожароопасное	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Здание относится к категории А, если в нем суммарная площадь помещений категории А превышает 5 % площади всех помещений, или составляет 200 м². Допускается не относить здание к категории А, если суммарная площадь помещений категории А в здании не превышает

25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м²), и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Б, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категории А; суммарная площадь помещений категорий А и Б превышает 5 % суммарной площади всех помещений, или составляет 200 м². Допускается не относить здание к категории Б, если суммарная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м²) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории В, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категории А или Б; суммарная площадь помещений категорий А, Б и В превышает 5 % (10 %, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммарной площади всех помещений. Допускается не относить здание к категории В, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м²) и эти помещения оборудуются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Г, если одновременно выполнены два условия: здание не относится к категориям А, Б и В; суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г превышает 5 % суммарной площади всех помещений. Допускается не относить здание к категории Г, если суммарная площадь помещений категорий А, Б, В и Г в здании не превышает 25 % суммарной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м²), а помещения категорий А, Б, В оборудуются установками автоматического пожаротушения.

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

Категории помещений и зданий, определенные в соответствии с НПБ 105-95 МВД России, следует применять для установления нормативных требований по обеспечению взрывопожарной и пожарной безопасности указанных помещений и зданий, в том числе при планировании площадей и размещении оборудования.

9.6. Средства и нормы пожаротушения

Параметры автоматических установок пожаротушения и пожарной сигнализации, а также неавтоматических дренчерных и газовых установок следует выбирать (см. табл. 9.4), руководствуясь СНИП 2.04.0–84,

которыми регламентированы группы помещений (производств и технологических процессов) по степени опасности развития пожара.

Если невозможно подобрать группу помещения по его функциональному назначению, то следует определять ее по величине пожарной нагрузки в соответствии со СТ СЭВ 446–77.

Установки водяного, пенного пожаротушения, а также водяного тушения со смачивателем подразделяются на спринклерные и дренчерные. Рекомендации по их применению приведены в СНиП 2.04.09–84.

Таблица 9.4

Параметры автоматических установок водяного и пенного пожаротушения

Группа помещения	Интенсивность орошения, л/(м ² · с)		Площадь, защищаемая одним спринклерным оросителем или легкоплавким замком, м ²	Площадь для расчета расхода воды или раствора пенообразователя, м ²	Продолжительность работы установок водяного пожаротушения, мин	Расстояние между спринклерными оросителями или легкоплавкими замками, м	Высота складирования, м, до
	Вода	Раствора пенообразователя					
1	0,08	–	12	120	30	4	–
2	0,12	0,08	12	240	60	4	–
3	0,24	0,12	12	240	60	4	–
4	0,3	0,15	12	360	60	4	–
5	0,08	0,04	9	180	60	3	2
	0,24	0,12	9	180	60	3	3
	0,32	0,16	9	180	60	3	4
	0,4	0,32	9	180	60	3	5,5
6	0,16	0,08	9	180	60	3	2
	0,4	0,24	9	180	60	3	3
	0,4	0,32	9	180	60	3	4
	0,4	0,4	9	180	60	3	5,5
7	–	0,1	9	180	–	3	2
	–	0,3	9	180	–	3	3
	–	0,4	9	180	–	3	4
	–	0,4	9	180	–	3	5,5

Примечания к табл. 9.4:

1. Площадь, защищаемая одним спринклерным настенным оросителем, составляет 16 м².

2. Для спринклерных установок значения интенсивности орошения и площади для расчета расхода воды или раствора пенообразователя приведены для помещений групп 1–4 высотой до 10 м, а также для фонарных помещений при суммарной площади фонарей не более 10 % площади. Параметры установок для помещений высотой 10–20 м следует принимать по табл. 3 СНиП 2.04.09–84.

3. Параметры установок водяного пожаротушения со смачивателем следует определять аналогично параметрам установок водяного пожаротушения.

Для тушения пожара отдельных агрегатов или оборудования применяют установки локального газового пожаротушения по объему. Расчетный объем локального пожаротушения определяют произведением площади основания защищаемого агрегата или оборудования на их высоту, при этом все габаритные размеры должны быть увеличены на 1 м.

Нормативная массовая огнетушащая концентрация при локальном тушении составляет (кг/м³): для СО₂ – 6; для хладона 114В2 – 3,5. Время тушения не должно превышать 30 с. В составе установки газового пожаротушения, кроме расчетного, должен быть 100 %-ный резервный запас огнетушащего вещества.

Таблица 9.5

Характеристика групп помещений по пожарной безопасности

Группа помещения	Перечень характерных помещений
1	Залы электронно-вычислительных машин (пожарная нагрузка до 200 МДж/м ²)
2	Помещения окрасочные, пропиточные, обезжиривания, консервации и расконсервации, смесеприготовительные, промывки деталей с применением ЛВЖ и ГЖ, помещения деревообработки (пожарная нагрузка 200–2000 МДж/м ²)
3	Помещения для производства резинотехнических изделий
4	Окрасочные и сушильные камеры; участки открытой окраски и сушки; краскоприготовительные и клееприготовительные отделения с применением ЛВЖ и ГЖ; машинные залы компрессорных станций и станций регенерации; помещения производств, перерабатывающих горючие газы, бензин, спирты, эфиры и другие ЛВЖ и ГЖ (пожарная нагрузка свыше 2000 МДж/м ²)
5	Склады горючих материалов в сгораемой упаковке
6	Склады твердых горючих материалов
7	Склады лаков, красок, ЛВЖ, ГЖ, пластмасс, резины, резинотехнических изделий, каучука, смол

9.7. Молниезащита

Молниезащита включает комплекс мероприятий и устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, предохранения зданий, сооружений, оборудования и материалов от взрывов, загораний и разрушений, возможных при воздействии молнии. Проектирование и изготовление молниезащиты должно выполняться с учетом норм и требований РД 34.21.122–87, который распространяется на новые, реконструируемые и расширяемые здания и сооружения.

Нормы и требования не распространяются на проектирование и устройство молниезащиты линий электропередач, контактных сетей, а также зданий и сооружений, эксплуатация которых связана с применением, производством или хранением взрывчатых веществ.

В соответствии с назначением зданий и сооружений необходимость выполнения молниезащиты, ее категория, а при использовании стержневых и тросовых молниеотводов – тип зоны защиты определяются по таблицам (см. табл. 9.6) в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз, а также от ожидаемого количества поражений здания или сооружения молнией в год.

Ожидаемое количество поражений молнией в год зданий и сооружений прямоугольной формы определяется по формуле

$$N = 10^{-6} n[(S + 6h_{зд})(L + 6h_{зд}) - 7,7h_{зд}^2]; \quad (9.4)$$

для сосредоточенных зданий и сооружений (башен, вышек, дымовых труб)

$$N = 9 \cdot 10^{-6} \pi h_{зд}^2 n, \quad (9.5)$$

где S, L – соответственно ширина и длина зданий, м; для зданий и сооружений сложной конфигурации в плане при расчете N в качестве S и L принимаются ширина и длина наименьшего описанного прямоугольника;

$h_{зд}$ – наибольшая высота здания или сооружения, м;

n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности (удельная плотность ударов молнии в землю) в месте расположения здания или сооружения.

Значения n в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз приведены в табл. 9.7.

Таблица 9.6

Категории молниезащиты и типы зон защиты

Здания и сооружения (класс)	Местоположение	Тип зоны защиты при использовании стержневых и тросовых молниеотводов	Категория молниезащиты
Здания и сооружения или их части, которые согласно ПУЭ относятся к зонам классов В-I и В-II	На всей территории	Зона А	I
Здания и сооружения или их части, которые согласно ПУЭ относятся к зонам классов В-Iа, В-Iб, В-Iа	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч/год и более	При ожидаемом количестве поражений молнией в год при $N > 1$ – зона А; при $N \leq 1$ – зона Б	II
Наружные установки, создающие согласно ПУЭ зону класса В-Iг	На всей территории	Зона Б	II
Здания и сооружения или их части, которые согласно ПУЭ относятся к зонам классов II – I, II – II, II – IIIа	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч/год и более	Для зданий и сооружений I и II степени огнестойкости при $0,1 < N \leq 2$ и для III, IV, V степени огнестойкости при $0,02 < N \leq 2$ – зона Б; при $N > 2$ – зона А	III
Наружные установки и открытые склады, создающие согласно ПУЭ зону класса II – III	То же	При $0,1 < N < 2$ – зона Б При $N > 2$ – зона А	III
Здания и сооружения III, IV, V степени огнестойкости, в которых отсутствуют помещения, относимые по ПУЭ к зонам взрыво- и пожароопасных классов	То же	При $0,1 < N \leq 2$ – зона Б При $N > 2$ – зона А	III
Здания вычислительных центров	То же	Зона Б	II

Примечания:

1. Зона защиты типа А обладает надежностью 99,5 % и выше, типа Б – 95 % и выше.

2. Устройство молниезащиты обязательно при одновременном выполнении условий, указанных в таблице.

Таблица 9.7

Значения n в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз

Среднегодовая продолжительность гроз						
Часов	10–20	20–40	40–60	60–80	80–100	>100
n	1	2	4	5,5	7	8,5

Средняя за год продолжительность гроз в отдельных регионах и промышленных центрах определяется либо по карте (РД 34.21.122–87), либо по утвержденным для некоторых областей региональным картам продолжительности гроз, либо по средним многолетним (порядка 10 лет) данным метеостанций, ближайших от места нахождения здания или сооружения.

Заземлители молниезащиты – это совокупность проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с почвой и служащие для отвода тока молнии в землю.

По расположению в грунте и форме электродов заземлители подразделяются:

а) на углубленные, стержневые (вертикальные) в виде стальных труб, стержней или уголков, забиваемых в землю;

б) поверхностные, полосовые (горизонтальные) в виде стальных полос (полосовые), уголков или катанки, укладываемых в верхних слоях грунта;

в) сложные, выполняемые комбинацией первых двух видов заземлителей.

Углубленные заземлители применяют чаще всего при глинистом грунте с наличием грунтовых вод на небольшой глубине.

Поверхностные заземлители применяют обычно в местах с постоянно влажными верхними слоями грунта или там, где углубленные заземлители забить трудно.

Выбор конструкции заземляющего устройства определяется требуемой по нормам величиной сопротивления растеканию тока молнии и геологическим состоянием почвы с учетом состояния удельных сопротивлений верхних и нижних слоев грунта.

Расчет заземления проводится в следующей последовательности:

1. Выбирается требуемая величина сопротивления заземления (для стационарного режима – R_{\sim}).
2. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта (либо путем измерения, либо по таблицам).
3. Выбирается система (тип) заземляющего устройства.
4. Принятая система заземлителя проверяется расчетом.

При поверочном расчете сначала определяется сопротивление растеканию отдельных элементов системы для стандартного режима (протекание токов промышленной частоты). Затем, используя ряд эмпирических коэффициентов a и h , определяется та же величина и для импульсного режима всей защиты заземлителей.

Если итоги расчета не совпадают с рекомендованными нормативными показателями, то необходимо скорректировать выполнение отдельных заземлителей и системы в целом.

Значения нормируемых величин заземляющих устройств зависят от категории зданий и сооружений, они приведены в табл. 9.8.

Таблица 9.8

Нормируемые величины заземляющих устройств

Характеристика молниезащиты	Величина сопротивления, Ом	Примечание
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ I КАТЕГОРИИ		
Защита от прямых ударов молнии изолированными от объекта молниеотводами	$R_i = 10$ $R_i = 40$	$\rho = 0,1 \cdot 10^4 \div 4 \cdot 10^4$ Ом · см $\rho = 5 \cdot 10^4$ Ом · см
Защита от прямых ударов молнии неизолированными от объекта молниеотводами	$R_i = 5$	
Защита от вторичных воздействий молнии	$R_{\sim} = 10$	Соединение заземлителем молниезащиты с заземляющими устройствами электроустановок и металлическими коммуникациями
Защита от заноса высоких потенциалов по трубопроводам, монтируемым на эстакадах: 1-я опора трубопровода 2-я опора трубопровода	$R_{\sim} = 5$ $R_{\sim} = 10$	

ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ II КАТЕГОРИИ		
Защита от прямых ударов молнии всеми видами молниеотводов	$R_i = 10$	Соединение заземлителем молниезащиты с заземляющими устройствами электроустановок и металлическими коммуникациями
Защита от заноса высоких потенциалов по воздушным линиям с кабельными вводами в объект: а) металлическая оболочка и броня кабеля, а также штыри изоляторов на концевой опоре; б) штыри изоляторов на предыдущей опоре	$R_{\sim} = 10$ $R_{\sim} = 20$	
Защита заноса от высоких потенциалов по трубопроводам, монтируемым на эстакадах: 1-я и 2-я опора трубопровода	$R_{\sim} = 10$	
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ III КАТЕГОРИИ		
Защита от прямых ударов молнии всеми видами молниеотводов (кроме объектов специального назначения, рассмотренных ниже)	$R_i = 20$	Заземляющие устройства выполняются с учетом требований по снижению опасности от шаговых напряжений. При невозможности выполнения эти требований $R_i = 10$ Ом
То же на животноводческих фермах	$R_i = 10$	
То же для металлических наружных установок с горючими жидкостями (не имеющих газотводных труб)	$R_i = 50$	
То же с газотводными трубами	$R_i = 20$	
Защита от заноса высоких потенциалов по воздушным линиям до 1000 В: а) штыри изоляторов на концевой опоре; б) искровой промежутки (разрядник) на вводе	$R_{\sim} = 30$	

Сопротивление обычного элемента заземляющего устройства при стационарном режиме (сопротивление растекания тока промышленной частоты) можно подсчитать по следующим формулам:

а) вертикальный трубчатый электрод

$$R \approx \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right); \quad (9.6)$$

б) вертикальный электрод из угловой стали

$$R \approx \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{b} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right); \quad (9.7)$$

в) горизонтальный полосовой заземлитель

$$R \approx \frac{0,366\rho}{l} \cdot \lg \frac{2l^2}{bt}; \quad (9.8)$$

г) горизонтальный заземлитель из круглой стали

$$R \approx \frac{0,366\rho}{l} \cdot \lg \frac{2l}{dt}; \quad (9.9)$$

д) кольцевой заземлитель из полосовой стали

$$R \approx \frac{0,117\rho}{l} \cdot \lg \frac{25,2D^2}{bt}; \quad (9.10)$$

е) кольцевой заземлитель из круглой стали

$$R \approx \frac{0,117\rho}{l} \cdot \lg \frac{12,6D^2}{dt}, \quad (9.11)$$

где ρ – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом · см;

l – длина заземлителя, см;

d – диаметр заземлителя, см;

t – глубина заложения заземлителя (для вертикальных электродов расстояние от поверхности земли до середины электрода);

b – ширина полосы (для угловой стали ширина полки), см;

D – диаметр кольца.

Наибольшее распространение в качестве заземляющего устройства получили отрезки труб, забиваемые вертикально.

Примерные сопротивления заземления, получаемого из одной трубы в разных грунтах, приведены в табл. 9.9.

Таблица 9.9

Примерные сопротивления заземления,
получаемого из одной трубы в разных грунтах

Род грунта	Удельное сопротивление, Ом · см	Сопротивление одной трубы длиной 2,5–3 м, Ом
Чернозем или глина	$1 \cdot 10^4$	30
Суглинок	$2 \cdot 10^4$	60
Супесок влажный	$5 \cdot 10^4$	150
Смешанная группа (глина, известняк, щебень)	$15 \cdot 10^4$	45
Лесс	$3 \cdot 10^4$	90
Песок	$10 \cdot 10^4$	300

Сопротивление трубы при стекании в нее тока молнии (импульсное сопротивление заземления) определяется по формуле

$$R_i = aR \sim . \quad (9.12)$$

Коэффициент a зависит от вида грунта, типа заземлителя и от величины тока, стекающего в трубу. Значения коэффициента a для тока молнии величиной 150 кА приведены в табл. 9.10.

Таблица 9.10

Значения коэффициента a для тока молнии величиной 150 кА

Тип заземлителя	Род грунта			
	глина, чернозем	суглинок	супесок	песок
Вертикальный стержневой, с числом стержней 2–4	0,55	0,45	0,3	–
	8 0,7	0,55	0,4	0,3
	15 0,8	0,7	0,55	0,4
Две горизонтальные полосы длиной по 5 м, расходящиеся в противоположные стороны от точки присоединения токоотвода	0,65	0,55	0,45	0,4
Три полосы длиной по 5 м, симметрично расходящиеся от точки присоединения токоотвода	0,7	0,6	0,5	0,45

Если заземление выполняется из нестандартных труб, то его сопротивление при стекании тока молнии будет иметь величину




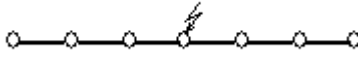
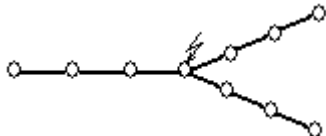
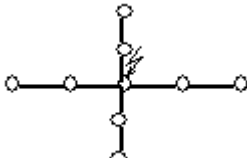
$$R_3 = \frac{aR}{hn}, \quad (9.13)$$

где n – число труб;

h – коэффициент использования сложного заземлителя ($h < 1$), учитывающий ухудшение условий растекания тока при наличии нескольких поблизости расположенных труб.

Коэффициент h зависит от отношения расстояния между электродами к длине электродов. Значения импульсного коэффициента использования типовых заземлителей приведены в табл. 9.11.

Таблица 9.11

Эскиз заземлителя	Число лучей, n	Длина луча, м	h
	2	при любой длине луча	1,0
	3	10	0,75
		20	0,80
		40	0,85
		80	0,90
		10	0,85
		20	0,70
		40	0,75
		80	0,80
	3	10	0,90
	5	20	0,90
	7	30	0,85
	10	40	0,85
	3	10	0,65
	5	20	0,75
	7	30	0,80
	10	40	0,80
	3	10	0,55
	5	20	0,65
	7	30	0,70
	10	40	0,70

10. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

10.1. Примеры расчета предохранительных устройств

При расчете предохранительных устройств (ПУ) может стоять одна из двух задач:

- а) рассчитать размеры ПУ для заданных условий работы, выбрать его по каталогу, стандарту или другой документации;
- б) рассчитать пропускную способность ПУ заданного типоразмера и определить его пригодность для работы в заданных условиях.

Порядок расчета при определении размеров и выборе предохранительного устройства следующий.

1. Определить характер и величину аварийного расхода.
2. Определить допустимое превышение давления в аппарате при работе ПУ.
3. Определить характеристику среды перед и за ПУ.
4. Рассчитать характеристики размера ПУ.
5. Выбрать соответствующий тип ПУ.
6. Выбрать ПУ по каталогу, стандарту или чертежам с гарантированными значениями α и F_R так, чтобы расчетные значения отвечали условиям:

$$(\alpha F)_R \leq \alpha F .$$

Порядок расчета при определении пропускной способности заданного ПУ следующий.

1. Определить характер и величину аварийного расхода
2. Определить допустимое превышение давления в аппарате при работе ПУ.
3. Определить характеристику среды перед и за ПУ.
4. Рассчитать пропускную способность предохранительного устройства.
5. Сопоставить расчетную пропускную способность m_R с аварийным расходом m_a . Устройство件годно для заданных условий работы, когда $m_R \geq m_a$.

Ниже приведены примеры расчета и выбора предохранительных устройств.

ПРИМЕР 1. Рассчитать и выбрать ПУ для защиты аппарата, в который поршневой компрессор подает воздух в количестве $m_k = 7200$ кг/ч. Избыточное рабочее давление в аппарате $p_p = 0,8$ МПа, температура $T_p = 420$ К. Воздух из ПУ сбрасывается в атмосферу. Максимальный аварийный приток воздуха может появиться при ошибочном перекрытии запорного вентиля за аппаратом. В этом случае $m_a = m_k = 7200$ кг/ч.

РЕШЕНИЕ.

Максимально допустимое давление в аппарате при срабатывании ПУ, согласно Правилам Ростехнадзора, составляет

$$p_1 = 1,15p_p = 1,15 \cdot 0,8 = 0,92 \text{ МПа.}$$

Давление сброса $p_2 = 0$; молярная масса воздуха $M = 28,96$ кг/кмоль; показатель изэнтропы при нормальных условиях $k_n = 1,4$; параметры критической точки: $p_{кр} = 3,77$ МПа; $T_{кр} = 132,5$ К (см. Приложение, табл. П4).

Температура воздуха при давлении p_1

$$T_1 = 420 [(0,92 + 0,1)/(0,8 + 0,1)](1,4 - 1)/1,4 = 435 \text{ К.}$$

Приведенные параметры:

$$\pi_1 = (0,92 + 0,1)/3,77 = 0,27; \quad \tau_1 = 435/132,5 = 3,28.$$

Так как $\pi_1/\tau_1 = 0,27/3,28 = 0,082 < 0,5$, то, следовательно, $k_1 = k_n = 1,4$; $k_2 = k_n = 1,4$ и $k = k_n = 1,4$.

Критическое отношение давлений $\beta^* = 0,528$ (см. Приложение, табл. П4); коэффициент сжимаемости при p_1 и T_1 имеет значение $z_1 = 1,0$ (см. Приложение, табл. П21).

Отношение давлений за и перед ПУ

$$\beta = (0 + 0,1)/(0,92 + 0,1) = 0,098,$$

что меньше значений $\beta^* = 0,528$ и $p_{кл}^* = 0,3$. Следовательно, $B_2 = 1$.

При $k = 1,4$ $B_3 = 0,484$ и $B_{1(z=1)} = 0,68$. Тогда $B_1 = 0,68/\sqrt{1} = 0,68$.

При $m = m_a$ расчетная величина

$$(\alpha_1 F)_R = \frac{7200}{10 \cdot 0,68 \cdot 1 \cdot (0,92 + 0,1)} = 1035 \text{ мм}^2.$$

В соответствии с рекомендациями выбираем в качестве ПУ пружинный полноподъемный предохранительный клапан с $\alpha_1 = 0,6$ (см. Приложение, табл. П22).

Площадь узкого сечения седла ПК

$$(F_c)_R = \frac{(\alpha_1 F)_R}{\alpha_1} = \frac{1035}{0,6} = 1727 \text{ мм}^2.$$

Диаметр узкого сечения седла

$$(d_c)_R = \sqrt{\frac{(F_c)_R}{0,785}} = \sqrt{\frac{1727}{0,785}} = 47 \text{ мм.}$$

Выбираем (по табл. П5, П8 Приложения) клапан пружинный полноподъемный фланцевый типа СППК4Р–16 (17с17нж) для неагрессивных сред с температурой до 450 °С, имеющий следующие параметры: $p_y = 1,6$ МПа

($>p_p = 0,8$ МПа); $d_c = 50$ мм ($>(d_c)_R = 47,0$ мм); $\alpha_1 = (\alpha_1)_R = 0,6$; пружина № 123 на давление открытия $p_n = 0,35 \pm 0,95$ МПа (см. Приложение, табл. П22); $D_y = 100$ мм; $D_{y1} = 125$ мм.

Применение ПК с проходным сечением $(\alpha_1 F)_D$, большим расчетной величины $(\alpha_1 F)_R$, вызовет снижение давления в защищаемом аппарате при полностью открытом клапане. Это давление (в данном случае при $\beta \leq \beta_{\text{кл}}^*$ и $B_2 = q = 1$) находят по формуле

$$(p_1)_D = (p_1 + 0,1)(\alpha_1 F)_R / (\alpha_1 F)_D - 0,1,$$

так как $(\alpha_1)_R = (\alpha_1)_D$, то в аппарате устанавливается давление

$$\begin{aligned} (p_1)_D &= (p_1 + 0,1)(d_c)_R^2 / (d_c)_D^2 - 0,1 = \\ &= (0,92 + 0,1)47^2 / 50^2 - 0,1 = 0,805 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Если бы при тех же условиях было $m_k = 500$ кг/ч, то

$$(\alpha_1 F)_R = \frac{500}{10 \cdot 0,68 \cdot 1(0,92 + 0,1)} = 72,1 \text{ мм}^2;$$

$$(F_c)_R = 72,1 / 0,6 = 121 \text{ мм}^2;$$

$$(d_c)_R = \sqrt{121 / 0,785} = 12,4 \text{ мм.}$$

Так как по табл. П5 Приложения наименьший диаметр ПК $d_c = 30$ мм, то при использовании такого клапана проходное сечение по сравнению с расчетным было бы завышено в $(30/12,4)^2 \approx 6$ раз, что неэкономично с точки зрения металлоемкости ПК и неблагоприятно с точки зрения динамики его работы. При полном открытии ПК давление в защищаемом аппарате резко упадет, вследствие чего клапан начнет закрываться. При продолжении действия источника аварийного повышения давления это приведет к повторным открытиям ПК, т. е. к вибрации золотника и ударам его по седлу и ограничителю.

В данном случае целесообразнее применить специальный ПК в соответствии с табл. П10 Приложения, имеющий $F_3 = 95 \text{ мм}^2 > (\alpha_1 F)_R = 72,1 \text{ мм}^2$ при $d_c = 12$ мм и $\alpha_1 \approx 0,8$. Тогда при открытом ПК в аппарате установится давление $(p_1)_D = (0,92 + 0,1)72,1^2 / 95^2 - 0,1 = 0,635$ МПа.

ПРИМЕР 2. Рассчитать пропускную способность предохранительной мембраны диаметром $d = 25$ мм, $\alpha_1 = 0,8$ и определить ее пригодность для защиты от повышения давления вследствие пожара вблизи аппарата, содержащего жидкий пропан при давлении 0,7 МПа и температуре 20 °С. Диаметр аппарата $D = 2$ м, длина $L = 4$ м. Аппарат без теплоизоляции и без специального охлаждения.

РЕШЕНИЕ.

Площадь наружной поверхности аппарата

$$F_{\text{app}} = \pi DL = 3,14 \cdot 2 \cdot 4 = 25,12 \text{ м}^2.$$

Максимальный аварийный расход жидкого пропана по формуле (3.2) при $k = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $t_r = 700 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{ж}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $r = 350 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$

$$m_a = \frac{25 \cdot 25,12 \cdot (700 - 20)}{350 \cdot 10^3} = 1,22 \text{ кг/с или } 4400 \text{ кг/ч.}$$

Определим пропускную способность мембраны при условиях:

$p_1 = 1,15 \cdot 0,7 = 0,805 \text{ МПа}$; $p_2 = 0$; $T_1 = 293 \text{ К}$. Для пропана (см. Приложение, табл. П4) $p_{\text{кр}} = 4,27 \text{ МПа}$; $T_{\text{кр}} = 369,8 \text{ К}$; $M = 44,09 \text{ кг/кмоль}$; $k_{\text{н}} = 1,14$. Тогда

$$\pi_1 = \frac{0,805 + 0,1}{4,27} = 0,212; \quad \tau_1 = \frac{293}{369,8} = 0,795; \quad \frac{\pi_1}{\tau_1} = \frac{0,212}{0,795} = 0,366 < 0,5.$$

Принимаем $k = k_{\text{н}} = 1,14$; $\beta^* = 0,576$; $z_1 = 0,84$. Вычисляем β :

$$\beta = \frac{p_2 + 0,1}{p_1 + 0,1} = \frac{0 + 0,1}{0,805 + 0,1} = 0,11 < \beta^* = 0,576.$$

Так как $\beta < \beta^*$ и $\beta < \beta_{\text{кл}}^* = 0,57 \cdot \beta^* = 0,33$, то принимаем $B_2 = 1$.

При $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ для пропана $B_{1(z=1)} = 0,93$ Тогда

$$B_1 = \frac{0,93}{\sqrt{0,84}} = 1,01.$$

Откуда находим

$$m = 10 \cdot 1,01 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,785 \cdot 252 \cdot (0,805 + 0,1) = 3570 < m_a = 4400 \text{ кг/ч.}$$

Следовательно, мембрана диаметром 25 мм не обеспечивает защиту аппарата при заданных условиях.

ПРИМЕР 3. Рассчитать и выбрать ПУ для защиты аппарата с рабочим давлением этилена $p_p = 2 \text{ МПа}$. Перед аппаратом установлен автоматический клапан – регулятор давления с $D_y = 25 \text{ мм}$. Перед клапаном давление $(p_1)_a = 20 \text{ МПа}$. Этилен сбрасывается через ПУ в емкость с давлением $p_2 = 1,3 \text{ МПа}$. Температура в системе равна примерно 310 К.

РЕШЕНИЕ.

Определяем максимальный аварийный расход этилена при полностью открытом регулирующем клапане $D_y = 25 \text{ мм}$. Истечение газа происходит от давления $(p_1)_a = 20 \text{ МПа}$ до максимально допустимого давления в аппарате:

$$(p_2)_a = 1,15/p_p = 1,15 \cdot 2 = 2,3 \text{ МПа.}$$

Характеристики этилена: $M = 28,05 \text{ кг/кмоль}$; $p_{\text{кр}} = 5,03 \text{ МПа}$; $T_{\text{кр}} = 282,9 \text{ К}$ (см. Приложение, табл. П4). При параметрах перед клапаном-регулятором $(p_1)_a + 0,1 = 20,1 \text{ МПа}$ и $T = 310 \text{ К}$ находим: $(z_1)_a = 0,58$ (табл. П18); $(k_1)_a \approx 7,8$ (см. рис. 10.1).

При параметрах после клапана-регулятора при $(p_2)_a = p_1$ будет $(p_2)_a + 0,1 = 2,3 + 0,1 = 2,4 \text{ МПа}$. Тогда при $(p_2)_a + 0,1 = 2,4 \text{ МПа}$ и $T_1 = 310 \text{ К}$ находим $(k_2)_a = 1,2$ (см. рис. 10.1).

$$\text{Тогда } (k)_a = 0,5 [(k_1)_a + (k_2)_a] = 0,5 (7,8 + 1,2) = 4,5.$$

При $(k)_a = 4,5$ находим (см. рис. 3.4) критическое отношение давлений на клапане-регуляторе

$$\left(\beta^*\right)_a = 0,272; \left(\beta_{\text{кл}}^*\right)_a = 0,57 \left(\beta^*\right)_a = 0,155.$$

При $\beta_a = \left[(p_2)_a + 0,1\right] / \left[(p_1)_a + 0,1\right] = 2,4 / 20,1 = 0,12 < \left(\beta_{\text{кл}}^*\right)_a = 0,155$ принимаем $(B_2)_a = 1$.

При $(k)_a = 4,5$ находим значение $(B_3)_a = 0,68$ (см. рис. 3.4).

Тогда

$$\left(B_{1(z_1=1)}\right)_a = 5,46 B_2 \sqrt{\frac{M}{T_1}} = 5,46 \cdot 0,68 \sqrt{28,05 / 310} \approx 1,11.$$

$$\text{Получаем } (B_1)_a = \left(B_{1(z_1=1)}\right)_a / \sqrt{(z_1)_a} = 1,11 / \sqrt{0,58} = 1,45.$$

Максимальный аварийный расход газа через регулирующий клапан с $D_y = 25$ мм при $\alpha_{\text{кл}} = 0,55$

$$\begin{aligned} m_a &= 10(B_1)_a (B_2)_a \alpha_{\text{кл}} F_{\text{кл}} \left[(p_1)_a + 0,1\right] = \\ &= 10 \cdot 1,45 \cdot 1 \cdot 0,55 \cdot 0,785 \cdot 252 \cdot (20 + 0,1) = 79000 \text{ кг/ч.} \end{aligned}$$

Определяем необходимые размеры предохранительного устройства.

Максимально допустимое давление в аппарате

$$p_1 = (p_2)_a = 1,15 \cdot 2 = 2,3 \text{ МПа;}$$

показатель изэнтропы газа перед ПУ $k_1 = (k_2)_a = 1,2$; коэффициент сжимаемости газа $z_1 = 0,87$ (см. Приложение, табл. П21).

При параметрах после ПУ $p_2 + 0,1 = 1,3 + 0,1 = 1,4$ МПа и $T = 310$ К по рис. 10.1 находим $k_2 = 1,21$. Тогда $k = 0,5 (k_1 + k_2) = 1,205$.

При $k = 1,205$ по рис. 3.4 имеем $\beta^* = 0,55$; $\beta_{\text{кл}}^* = 0,57 \cdot \beta^* = 0,315$.

Находим отношение давлений на клапане-регуляторе

$$\beta = (p_2 + 0,1) / (p_1 + 0,1) = 1,4 / (2,3 + 0,1) = 0,584 > \beta^* = 0,55 > \beta_{\text{кл}}^* = 0,315$$

При $\beta = 0,584$ и $\beta_{\text{кл}}^* = 0,315$ определяем B_2 :

$$B_2 = q = \left[1 - \left(\frac{0,584 - 0,315}{1 - 0,315} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,92.$$

При $t_1 = 310 - 273 = 37$ °С для этилена по рис. 10.1 находим $B_{1(z_1=1)} = 0,75$.

Тогда по формуле $B_1 = B_{1(z_1=1)} / \sqrt{z_1}$ получим $B_1 = 0,75 / \sqrt{0,87} = 0,804$.

В качестве ПУ выбираем пружинный полноподъемный предохранительный клапан с $\alpha_1 = 0,6$ (см. табл. П22).

При $m = m_a = 79\ 000$ кг/ч находим расчетную величину

$$\left(\alpha_1 F\right)_R = \frac{m_a}{10 \cdot B_1 B_2 (p_1 + 0,1)} = \frac{79000}{10 \cdot 0,804 \cdot 0,92 (2,3 + 0,1)} = 4450 \text{ мм}^2.$$

Тогда

$$(F_c)_R = (\alpha_1 F)_R / \alpha_1 = 4450 / 0,6 = 7400 \text{ мм}^2;$$

$$(d_c)_R = \sqrt{(F_c)_R / 0,785} = \sqrt{7400 / 0,785} = 97,2 \text{ мм}$$

Поскольку на ближайшее большее давление $p_y = 4,0$ МПа нет клапанов более $d_c = 72$ мм, (табл. П5), выбираем три клапана типа СППК4Р-40 (предохранительные пружинные полноподъемные фланцевые с температурой до 450°C на условное давление $p_y = 4,0$ МПа, входной патрубок $D_y = 150$ мм, выходной патрубок $D_{y1} = 200$ мм; $d_c = 72$ мм).

Для трех ПК

$$((\alpha_1 F)_D) = 3 \cdot 0,4 \cdot 0,785 \cdot 72^2 = 5750 \text{ мм}^2.$$

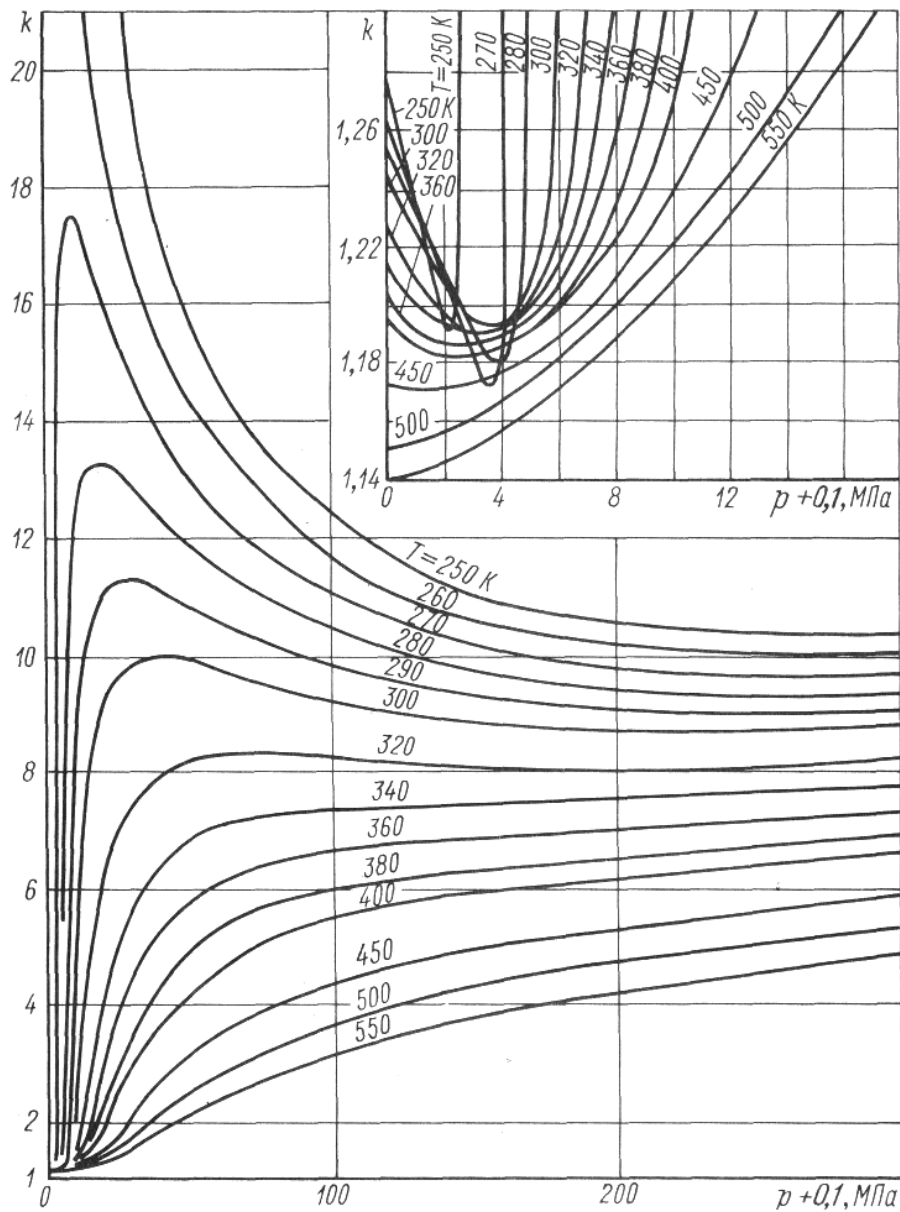


Рис. 10.1. Показатель изоэнтропы для этилена

Давление в защищаемом аппарате при открытом ПК в данном случае (при $\beta > \beta_{\text{кл}}^*$ и $B_2 = q < 1$) находится по формуле

$$(p_1)_{\text{Д}} = \frac{1}{1 - 2\beta_{\text{кл}}^*} \times \left\{ \left[1 - (\beta_{\text{кл}}^*)^2 \right] \sqrt{\left[\frac{(p_1 + 0,1)B_2(\alpha_1 F)_R}{(\alpha_1 F)_{\text{Д}}} \right]^2} (1 - 2\beta_{\text{кл}}^*) + (p_2 + 0,1)^2 - (p_2 + 0,1)\beta_{\text{кл}}^* \right\} - 0,1.$$

Вычисление по данной формуле дает $(p_1)_{\text{Д}} = 2,953$ МПа.

Выбранный клапан по каталогу имеет $(\alpha_1)_{\text{кат}} = 0,4$, а не 0,6. Пересчитаем величину $(F_c)_R$ для одного клапана с учетом того, что $(\alpha_1)_{\text{кат}} = 0,4$:

$$(F'_c)_R = \frac{(\alpha_1 F)_R}{3(\alpha_1)_{\text{кат}}} = \frac{4450}{3 \cdot 0,4} = 3710 \text{ мм}^2;$$

$$(d'_c)_R = \sqrt{(F'_c)_R / 0,785} = \sqrt{3710 / 0,785} = 68,7 \text{ мм}.$$

Следовательно, выбранные три клапана типа СППК4Р-40 (17с25нж) для неагрессивных сред при срабатывании обеспечивают сброс максимального аварийного расхода газа.

Таким образом, выбраны три клапана типа СППК4Р-40 (17с25нж) для неагрессивных сред с температурой до 450 °С на условное давление $p_y = 4,0$ МПа, входной патрубков $D_y = 150$ мм, выходной патрубков $D_{y1} = 200$ мм; $d_c = 72$ мм; $\alpha_1 = 0,4$, пружина № 301 на давление настройки $p_n = 2,2 \div 2,8$ МПа.

В данном случае следовало бы принять специальный клапан разгруженного типа, поскольку противодавление $p_2 = 1,3$ МПа больше допускаемого в выбранном клапане

$$(p_2)_{\text{доп}} = 0,1 \cdot p_1 = 0,1 \cdot 2,3 = 0,23 \text{ МПа}.$$

Проверим выбранные три ПК с $d_{\text{с(в)}} = 72$ мм и $\alpha_1 = 0,4$ по формуле Росгортехнадзора.

При $k = 1,24$ и $\beta = 0,584$ по табл. П11 Приложения находим $B = 0,718$.

Давления: $p_1 = 2,3$ МПа; $p_2 = 1,3$ МПа.

Аварийный расход через один ПК

$$m_a = 79000/3 = 26330 \text{ кг/ч}.$$

Находим плотность газа перед ПК

$$\rho_1 = 10^6 (2,3 + 0,1) 28,05 / (8314 \cdot 0,87 \cdot 310) = 29,6 \text{ кг/м}^3.$$

По формуле $F_{R(\Gamma\Gamma\Gamma\text{H})} = m_a [5,03\alpha B \sqrt{(p_1 - p_2)\rho_1}]^{-1}$ при $\alpha = \alpha_1$ площадь расчетного сечения ПК

$$F_{R(\Gamma\Gamma\text{H})} = 26330 / \left[5,03 \cdot 0,4 \cdot 0,718 / \sqrt{(2,3 - 1,3) 29,6} \right] = 3340 \text{ мм}^2.$$

Тогда расчетный диаметр ПК

$$d_{R(\Gamma TH)} = \sqrt{F_{R(\Gamma TH)} / 0,785} = 65,5 \text{ мм} < d_{c(B)} = 72 \text{ мм},$$

что свидетельствует о том, что выбранные клапаны проходят по формуле Росгортехнадзора, которая при $k = k_a$ для этилена дает заниженные значения диаметра ПУ.

10.2. Примеры расчета пожаро- и взрывобезопасности

При попадании замкнутого резервуара со сжиженным газом или жидкостью в очаг пожара может происходить нагрев содержимого резервуара до температуры, существенно превышающей нормальную температуру кипения, с соответствующим повышением давления. За счет нагрева не смоченных стенок сосуда уменьшается предел прочности их материала, в результате чего при определенных условиях оказывается возможным разрыв резервуара с возникновением волн давления и образованием «огненного шара».

Разрыв резервуара в очаге пожара с образованием волн давления получил название BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion – взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости).

Расчет параметров волны давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью или сжиженным газом при воздействии на него очага пожара производится в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047–98.

Порядок расчета параметров волн давления.

Возможность возникновения BLEVE для конкретного вещества, хранящегося в замкнутой емкости, определяют следующим образом.

Рассчитывают δ по формуле

$$\delta = \frac{C_p (T - T_{\text{кип}})}{L},$$

где C_p – удельная теплоемкость жидкой фазы, Дж/кг;

T – температура жидкой фазы, соответствующая температуре насыщенного пара при давлении срабатывания предохранительного клапана, К;

$T_{\text{кип}}$ – температура кипения вещества при нормальном давлении, К;

L – удельная теплота испарения при нормальной температуре кипения $T_{\text{кип}}$, Дж/кг.

Если $\delta < 0,35$, BLEVE не происходит. При $\delta > 0,35$ вероятность возникновения данного явления велика.

Параметрами волны давления, образующейся при BLEVE, являются избыточное давление в положительной фазе волны Δp и безразмерный импульс положительной фазы волны i .

Δp и i рассчитывают по формулам:

$$\Delta p = p_0 \left(\frac{0,8m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{\text{пр}}^{0,88}}{r^2} + \frac{5m_{\text{пр}}}{r^3} \right), \text{ кПа,}$$

$$i = \frac{123m_{\text{пр}}^{0,66}}{r}, \text{ Па}\cdot\text{с,}$$

где p_0 – атмосферное давление, принимаемое равным 101 кПа;

r – расстояние до разрушающегося технологического оборудования, м;

$m_{\text{пр}}$ – приведенная масса, кг.

Величина $m_{\text{пр}}$ рассчитывается по формуле

$$m_{\text{пр}} = E_{\text{из}} / Q_0, \text{ кг,}$$

где $E_{\text{из}}$ – энергия, выделяющаяся при изоэнтропическом расширении среды, находящейся в резервуаре, Дж;

Q_0 – константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Величину $E_{\text{из}}$ рассчитывают по формуле

$$E_{\text{из}} = m \cdot C_{\text{эфф}} \cdot (T - T_{\text{кип}}), \text{ Дж,}$$

где m – масса вещества в резервуаре, кг;

$C_{\text{эфф}}$ – константа, равная 500 Дж/(кг · К);

T – температура вещества в резервуаре в момент его взрыва, К;

$T_{\text{кип}}$ – температура кипения вещества при нормальном давлении, К.

При наличии в резервуаре предохранительного клапана температуру вещества допускается рассчитывать по формуле

$$T = \frac{B}{A - \lg p_{\text{к}}} - C_a + 273,15, \text{ К,}$$

где A, B, C_a – константы Антуана для вещества;

$p_{\text{к}}$ – давление срабатывания предохранительного клапана, кПа.

Константа A должна соответствовать давлению, выраженному в кПа.

ПРИМЕР 4. Рассчитать параметры положительной фазы волны давления на расстоянии r от эпицентра аварии, связанной с развитием BLEVE на железнодорожной цистерне вместимостью 50 м³ с массой $m = 40000$ кг жидкого пропана. Цистерна имеет предохранительный клапан на давление срабатывания $P_{\text{к}} = 2,0$ МПа. Расстояние до разрушающегося технологического оборудования $r = 500$ м. Температура кипения вещества при атмосферном давлении $T_{\text{кип}} = 231,1$ К. Удельная теплота испарения при нормальной температуре кипения $L = 378,9$ кДж/кг. Константы Антуана для пропана: $A = 5,949$; $B = 812,648$; $C_a = 247,55$. Общие константы: $Q_0 = 4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; $C_{\text{эфф}} = 500$ Дж/(кг · К).

РЕШЕНИЕ.

Температура вещества в резервуаре в момент его взрыва, К

$$T = \frac{B}{A - \lg 2000} - C + 273,14 = 332,485 \text{ К.}$$

Энергия, выделяющаяся при изэнтропическом расширении среды, находящейся в резервуаре

$$E_{из} = m \cdot C_{эфф} (T - T_{кип}) = 2,028 \cdot 10^9 \text{ Дж.}$$

Находим приведенную массу

$$m_{пр} = \frac{E_{из}}{Q_0} = 448,605 \text{ кг.}$$

Параметрами волны давления, образующейся при BLEVE, являются избыточное давление в положительной фазе волны Δp и безразмерный импульс положительной фазы волны i .

$$\Delta p = P_k \left(\frac{0,8m_{пр}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{пр}^{0,88}}{r^2} + \frac{5m_{пр}}{r^3} \right) = 0,029 \text{ кПа,}$$

$$i = \frac{123m_{пр}^{0,66}}{r} = 13,841 \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Удельная теплоемкость жидкой фазы при $C_p = 2,32 \text{ кДж/кг}$

$$\delta = \frac{C_p (T - T_{кип})}{L} = 0,621.$$

Так как $\delta = 0,621 > 0,35$, то вероятно возникновение BLEVE (взрыва расширяющихся паров вскипающей жидкости).

ПРИМЕР 5. Рассчитать и выбрать ПУ для защиты емкостного аппарата диаметром $D = 1,1 \text{ м}$, высотой $H = 2 \text{ м}$ от возможного взрыва паровоздушной смеси метана. Начальное давление в аппарате атмосферное, т. е. $p_p = 0$. Температура $T = 300 \text{ К}$. Расчетное давление аппарата на прочность $p_R = 0,06 \text{ МПа}$.

РЕШЕНИЕ.

Определим аварийный расход горючей смеси.

Максимальная площадь поверхности фронта пламени при $D < H$ определяется по формуле:

$$F_{пл} = \pi D^2 = 3,14 \cdot 1,12 = 3,8 \text{ м}^2.$$

Объем аппарата

$$V = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 H = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 1,12 \cdot 2 = 1,91 \text{ м}^3.$$

Максимально допустимое давление в аппарате

$$p_1 = p_R + 0,05 = 0,06 + 0,05 = 0,11 \text{ МПа.}$$

Принимаем коэффициент турбулизации фронта пламени $K_T = 1,5$ (см. табл. П1 Приложения), нормальную скорость распространения пламени – $u_{пл} = 0,34 \text{ м/с}$ и относительное давление $\varepsilon = 8,2$ (см. табл. П3 Приложения). Для горючей смеси без учета влияния температуры при взрыве принимаем, как для метана, $k_n = 1,3$, $M = 16,04 \text{ кг/кмоль}$ (см. табл. П4 Приложения). По

формуле (3.5) определяем скорость распространения давления в аппарате при взрыве

$$\frac{dp}{d\tau} = 1,5 \cdot 3,8 \frac{(0+0,1)10^6 0,34(8,2-1)}{1,91} \left(\frac{0,11+0,1}{0+0,1} \right)^{1/1,3} = 1,35 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Максимальный аварийный расход горючей смеси по формуле (3.1.5)

$$m_a = \frac{16,04 \cdot 1,91}{8314 \cdot 300} 1,35 \cdot 10^6 = 16,5 \text{ кг/ч}.$$

Температура продуктов сгорания может быть очень высокой, до 1600 К и выше. Но для запаса в расчете принимают наиболее неблагоприятный случай аварийного расхода и истечения среды через ПУ при температуре $T_m = T_1 = 300 \text{ К}$.

Определим проходное сечение ПУ. Принимаем $p_{кр} = 4,64 \text{ МПа}$; $T_{кр} = 190,5 \text{ К}$ (см. табл. П4 Приложения). Тогда

$$\pi_1 = (p_1 + 0,1) / p_{кр.т} = (0,11 + 0,1) / 4,64 = 0,0452;$$

$$\tau_1 = T_1 / T_{кр.т} = 300 / 190,5 = 1,58;$$

$$\pi_1 / \tau_1 = 0,0452 / 1,58 = 0,0285 < 0,5,$$

следовательно, $k_1 = k_n$; $k_2 = k_n$, $k = k_n = 1,3$.

При $\pi_1 = 0,0452$ и $\tau_1 = 1,58$, находим $z_1 \approx 1$ (см. рис. 10.2).

При $k_n = 1,3$ для метана $\beta^* = 0,546$ (см. табл. П4 Приложения) определяем β :

$$\beta = (p_2 + 0,1) / (p_1 + 0,1) = (0 + 0,1) / (0,11 + 0,1) = 0,476.$$

Так как $\beta < \beta^*$ ($0,476 < 0,546$), хотя $\beta > \beta_{кл}^* = 0,57\beta^* = 0,31$, принимаем (в сторону запаса) $B_2 = 1$.

При $T_1 = 300 \text{ К}$ имеем $B_{1(z_1=1)} = 0,57$ (рис. 3.4). Получим

$$B_1 = B_{1(z=1)} / \sqrt{z_1} = 0,57 / \sqrt{1} = 0,57.$$

Расчетная площадь сечения ПУ при $m = m_a$

$$F_R = (\alpha_1 F)_R / \alpha_1 = 49500 / 0,8 = 62000 \text{ мм}^2.$$

В качестве ПУ выбираем предохранительную мембрану с коэффициентом расхода $\alpha_1 = 0,8$ (см. табл. П21 Приложения).

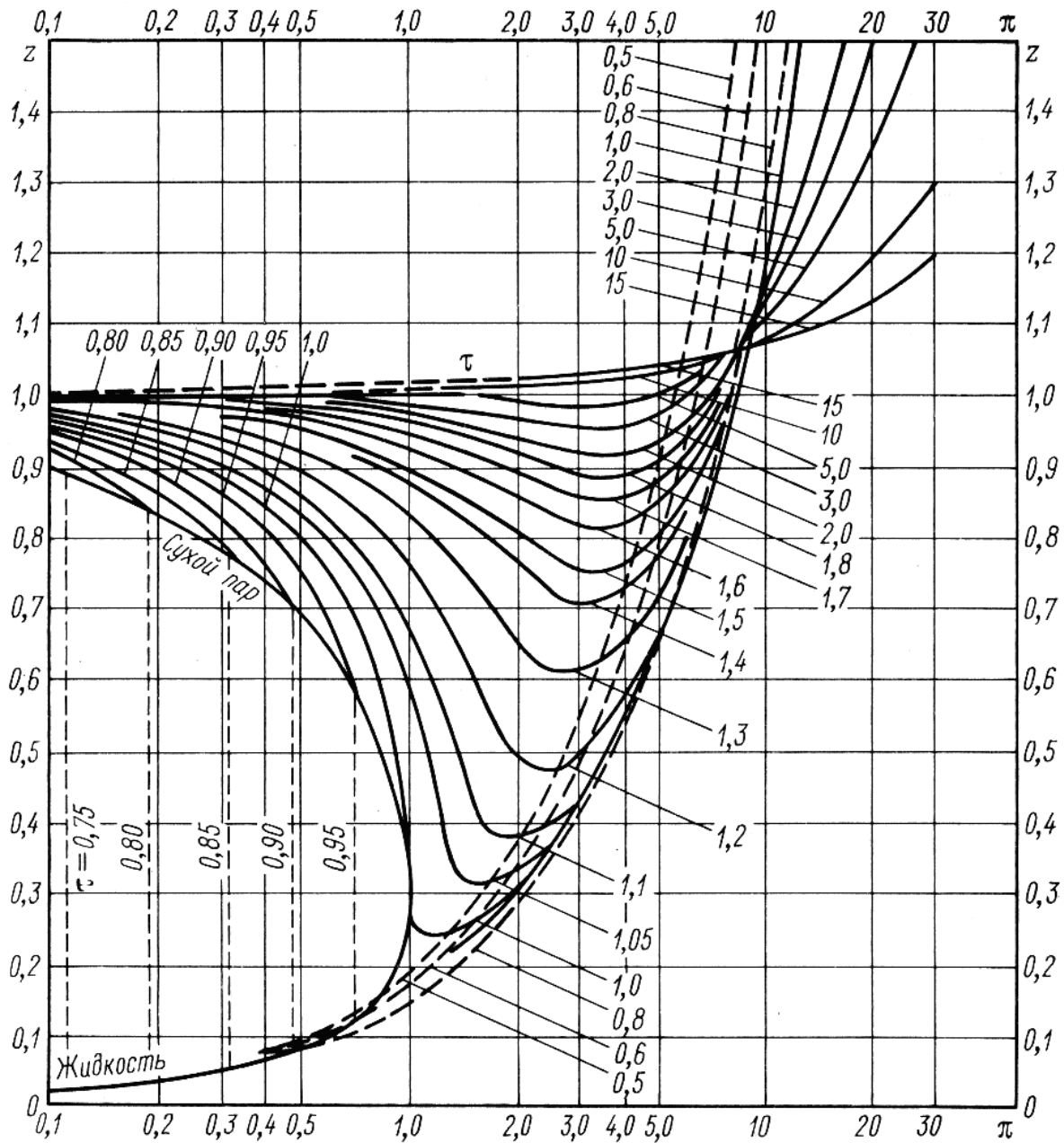


Рис. 10.2. Коэффициент сжимаемости z в зависимости от приведенных параметров π и τ

Тогда

$$(\alpha_1 F)_R = \frac{59200}{10 \cdot 0,57 \cdot 1(0,11 + 0,1)} = 49500 \text{ мм}^2.$$

Принимаем две мембраны с расчетным диаметром

$$d_R = \sqrt{F_R / (2 \cdot 0,785)} = \sqrt{62000 / (2 \cdot 0,785)} = 199 \text{ мм}.$$

Выбираем диаметр мембраны $d = 200$ мм (см. табл. П13 Приложения).

ПРИМЕР 6. Выполнить заземляющее устройство для защиты здания, относящегося ко II категории, от прямых ударов молнии. В качестве заземляющих электродов использовать стержневые трубчатые заземлители. Характер грунта в месте установки заземляющего устройства – супесок влажный.

РЕШЕНИЕ.

По табл. 9.8 определим нормируемую величину заземляющего устройства для зданий II категории. В этом случае импульсное сопротивление заземления $R_i = 10$ Ом.

В качестве заземления примем некондиционные стальные трубы длиной 3 м, диаметром 42 мм с толщиной стенок 3,5 мм, соединенные полосовой сталью. Заземлитель выполнен в виде двух лучей. Глубину залегания заземлителей (от поверхности земли до середины электрода) примем равной 2,3 м, а расстояние между заземлителями – 4 м.

Определяем сопротивление одного трубчатого электрода при стационарном режиме

$$R \sim \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) = 61 \cdot (\lg 143 + 0,5 \lg 1,97) = 142 \text{ Ом},$$

где $\rho = 5 \cdot 10^4$ Ом·см;
 $l = 300$ см;
 $d = 4,2$ см;
 $t = 230$ см.

Определяем число заземленных электродов, которые надо установить, чтобы выполнить нормативное сопротивление. Значения a и h берем ориентировочно для 10-ти электродов из табл. 9.10 и 9.11, т. е. $a = 0,5$ и $h = 0,85$. Тогда

$$n = \frac{aR \sim}{hR_i} = \frac{0,5 \cdot 142}{0,85 \cdot 10} = 8,4.$$

Учитывая возможное увеличение сопротивления почвы примем число заземлителей в количестве 10 шт.

10.3. Пример расчета размера сливных отверстий

Расчет площади сливного отверстия в ограничивающем жидкость устройстве (поддоне, отсеке, огражденном бортиками участке цеха, производственной площадке и т. п.) производится в соответствии с ГОСТ Р 12.3.047–98, исключающем перелив жидкости через борт ограничивающего устройства и растекание жидкости за его пределами.

В расчете учитывают поступление горючей жидкости в поддон из аппарата в момент его аварийного вскрытия, воды от установки пожаротушения и выгорание жидкости с поверхности поддона.

В методике расчета приняты следующие предположения:

– при возникновении аварийной ситуации герметичность стенок аппарата не нарушается;

- разрушаются только патрубки, лежащие ниже уровня жидкости в аппарате, образуя сливные отверстия, равные диаметру патрубков;
- вероятность одновременного разрушения двух патрубков мала;
- давление паров над поверхностью жидкости в аппарате в процессе слива жидкости не меняется.

Для проведения расчета необходимо знать:

- количество трубопроводов n , расположенных ниже уровня горючей жидкости в аппарате, и площадь их поперечного сечения σ_i , м²;
- площадь поперечного сечения аппарата F_a , м²;
- высоту уровня жидкости над трубопроводами H_i , м;
- высоту борта поддона L , м;
- интенсивность орошения водой из установок пожаротушения площади поддона I , кг/(м² · с);
- скорость выгорания горючей жидкости W , кг/(м² · с);
- избыточное давление в аппарате над поверхностью жидкости p , Па.

Целью расчета является выбор площади поддона $F_{\text{п}}$, м², и расчет площади сливного отверстия f , м².

Расчет осуществляется в следующем порядке.

1. По заданным исходным данным определяют начальные расходы Q_i жидкости из аппарата через отверстия, равные сечению трубопроводов, расположенных на аппарате, по формуле

$$Q_i = \varphi \cdot \sigma_i \sqrt{2gH_i}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где $\varphi = 0,65$ – коэффициент истечения жидкости через отверстие;

σ_i – площадь сечения i -го трубопровода;

g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²;

H_i – высота уровня жидкости над i -м трубопроводом.

2. По наибольшему из вычисленных начальных расходов $Q_{\text{max}} = \max(Q_i)$ выбирают площадь отверстия в аппарате f и высоту уровня жидкости над ним H_0 .

3. Из конструктивных соображений выбирают площадь поддона $F_{\text{п}}$, м², и определяют m

$$m = \frac{F_a H_0}{F_{\text{п}} h_{\text{max}}},$$

где $h_{\text{max}} = 0,8L$ – максимально допустимый уровень жидкости в поддоне.

4. Вычисляют объем жидкости Q_0 , поступающей в поддон в единицу времени от установки пожаротушения (с учетом выгорания горючей жидкости) по формуле

$$Q_0 = \frac{1-W}{\rho} F_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где ρ – плотность огнетушащей жидкости, кг/м^3 .

При отсутствии данных по скорости выгорания W полагают равной нулю ($W = 0$).

5. Площадь сливного отверстия f при $m < 1$ определяют по формуле

$$f = \frac{Q_0}{\phi \sqrt{2gh_{\max}}}, \text{ м}^2.$$

6. При $m \geq 1$ порядок расчета f следующий:

6.1. Определяют напор, создаваемый сжатыми газами в аппарате

$$H_p = \frac{p}{\rho g},$$

где ρ – плотность воды, кг/м^3 .

6.2. Вычисляют значение параметра

$$b = \ln \left[\sqrt{\frac{F_a (H_0 + H_p)}{F_n h_{\max}}} \left(1 + \sqrt{\frac{Q_0}{Q_{\max}} \sqrt{\frac{H_0}{H_0 + H_p}}} \right) \right],$$

где Q_{\max} – максимальный расход жидкости из аппарата, определяемый по п.1.

6.3. По значению b с помощью табл. 10.1 находят a .

Таблица 10.1

Зависимость параметра a от b

a	b	a	b	a	b	a	b
0,000	0,000	0,990	0,993	3,107	1,901	14,999	3,408
0,071	0,106	1,000	1,000	3,418	1,987	16,573	3,506
0,170	0,241	1,045	1,030	3,762	2,075	18,313	3,605
0,268	0,361	1,081	1,053	4,144	2,164	20,236	3,705
0,362	0,467	1,185	1,117	4,568	2,255	22,362	3,804
0,454	0,560	1,255	1,158	5,037	2,347	24,711	3,903
0,540	0,642	1,337	1,205	5,557	2,440	27,308	4,003
0,622	0,714	1,433	1,256	6,132	2,534	30,178	4,102
0,697	0,777	1,543	1,313	6,769	2,628	33,351	4,219
0,765	0,831	1,668	1,374	7,473	2,725	36,857	4,302
0,853	0,877	1,810	1,439	8,253	2,821	40,732	4,401
0,876	0,915	1,971	1,509	9,115	2,918	45,014	4,501
0,921	0,946	2,151	1,581	10,068	3,015	54,978	4,701
0,955	0,970	2,352	1,657	11,121	3,113	67,148	4,901
0,980	0,980	2,575	1,736	12,287	3,211	74,210	5,000
0,986	0,986	2,828	1,817	13,575	3,309		

Если данных в табл. 10.1 недостаточно для определения a , то a и b определяют по уравнениям

$$a = ch\alpha, \quad b = \frac{\alpha}{th\alpha},$$

где α – степень заполнения резервуара (например, при $\alpha = 0,8$ $a = 1,337, b = 1,205$).

6.4. При найденном значении a рассчитывают f по формуле

$$f = 2a\sigma \sqrt{\frac{F_{\Pi}}{F_a}}, \text{ м}^2.$$

6.5. По значению f определяют расчетный диаметр трубопровода

$$d_R = \sqrt{4f / \pi}, \text{ м},$$

и выбирают диаметр отходящего от поддона трубопровода d_T из условия $d_T \geq d_R$.

ПРИМЕР 7. В производственном помещении вертикально установлен цилиндрический аппарат диаметром $D = 1,5$ м и заполнен толуолом. Аппарат имеет $N = 4$ патрубка. Сечения патрубков и высоты уровней жидкости над ними представлены в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Номер патрубка N_i	$H_i, \text{ м}$	$\sigma_i, \text{ м}^2$	Номер патрубка N_i	$H_i, \text{ м}$	$\sigma_i, \text{ м}^2$
1	1,0	$3,1 \cdot 10^{-3}$	3	4,0	$1,13 \cdot 10^{-2}$
2	2,5	$0,5 \cdot 10^{-3}$	4	6,0	$0,785 \cdot 10^{-2}$

Нормативная интенсивность подачи воды от системы пожаротушения равна $0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$.

Скорость выгорания толуола $W = 3,47 \cdot 10^{-2} \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с})$.

Давление в аппарате равно атмосферному.

Предполагается под аппаратом установить поддон с высотой борта $L = 0,3$ м.

Необходимо определить площадь поддона F_{Π} и площадь сливного отверстия f .

РЕШЕНИЕ.

Определим начальные расходы жидкости через патрубки N_1-N_4 .

$$Q_1 = \varphi\sigma_1 \sqrt{2gH_1} = 0,65 \cdot 3,1 \cdot 10^{-3} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} = 8,93 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_2 = 0,65 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,5} = 2,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_3 = 0,65 \cdot 1,13 \cdot 10^{-2} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4} = 6,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_4 = 0,65 \cdot 0,785 \cdot 10^{-2} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 10^{-2}} = 5,54 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с};$$

Максимальный расход жидкости осуществляется через патрубок N_3 , поэтому для дальнейшего расчета принимаем

$$Q_{\max} = 6,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}; \quad \sigma = 1,13 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2; \quad H_0 = 4 \text{ м}.$$

Рассчитаем площадь поперечного сечения аппарата

$$F_a = \pi D^2 / 4 = 3,14 \cdot 1,5^2 / 4 = 1,77 \text{ м}^2,$$

и, принимая сторону квадратного поддона большей на 1 м диаметра аппарата, найдем площадь поддона

$$F_n = (D + 1)^2 = 6,25 \text{ м}^2.$$

Определим m

$$m = \frac{F_a H_0}{F_n h_{\max}} = \frac{1,77 \cdot 4}{6,25 \cdot 0,8 \cdot 0,3} = 4,72.$$

Вычислим с учетом скорости выгорания толуола объем воды, поступающий в поддон в единицу времени, $\text{м}^3/\text{с}$

$$Q_0 = \frac{(I - W) F_n}{\rho} = \frac{(0,5 - 0,0347) 6,25}{1000} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Так как $m > 1$, дальнейший расчет проводим по п.б.

При $P = 0$, напор, создаваемый сжатыми газами над поверхностью жидкости $H_p = 0$. Тогда

$$b = \ln \left[\sqrt{\frac{F_a H_0}{F_0 h_{\max}}} \left(1 + \frac{Q_0}{Q_{\max}} \right) \right] = \ln \left[\sqrt{\frac{1,77 \cdot 4}{6,25 \cdot 0,8 \cdot 0,3}} \left(1 + \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{6,5 \cdot 10^{-2}} \right) \right].$$

По табл. 10.1 находим $a = 0,75$.

Рассчитаем площадь сливного отверстия f , м^2

$$f = 2a\sigma \sqrt{\frac{F_n}{F_a}} = 2 \cdot 0,75 \cdot 1,13 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{6,25}{1,77}} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Определяем расчетный диаметр трубопровода

$$d_R = \sqrt{4f / \pi} = \sqrt{4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} / 3,14159} = 0,202 \text{ м}.$$

Принимаем по ГОСТ 9617–76 стальную трубу диаметром $d = 219$ мм.

10.4. Пример расчета виброизоляции под вентилятор

ПРИМЕР 8. Требуется подобрать виброизоляторы под вентилятор, масса которого $m = Q_V/g = 180$ кг. Частота вращения главного вала $N = 1450$ об/мин. При рабочем режиме вентилятора возникает центробежная сила, действующая в плоскости, перпендикулярной оси вращения рабочего колеса. Она равна $F = 900$ Н и приложена к центру масс рабочего колеса. Расстояние от горизонтальной опорной плоскости вентилятора до его вала составляет 65 см. Центр масс вентилятора смещен на 100 мм ниже оси главного вала, на 55 мм от вертикальной плоскости, проходящей через вал вентилятора, в сторону выходного отверстия улитки и на 70 мм в сторону электродвигателя от вертикальной плоскости, расположенной между электродвигателем и коробом вентилятора.

При рабочем режиме вентилятора в месте его установки возникают вертикальные колебания несущей конструкции с амплитудой $Z_Q = 0,187$ мм, что недопустимо. Допустимая амплитуда колебаний несущей конструкции по технологическим требованиям для машин, низкочувствительных к колебаниям, составляет $a_0 = 0,010$ мм. Допустимая амплитуда колебаний (поданным

технологов) для вала вентилятора должна быть 0,22 мм. Скорость убывания ε частоты возмущения в режиме остановки вентилятора равна 0,75 Гц/с. Мощность электродвигателя 3 кВт. Вентилятор предполагается установить на железобетонную плиту размером 100×100×15 см. Масса плиты 330 кг. Монтаж установки на пружинных виброизоляторах будет производиться согласно эскизу, приведенному на рис. 6.6. При таком расположении виброизоляторов центры масс вентилятора и плиты будут находиться в одной вертикальной плоскости, проходящей перпендикулярно главному валу вентилятора, но на разных вертикалях.

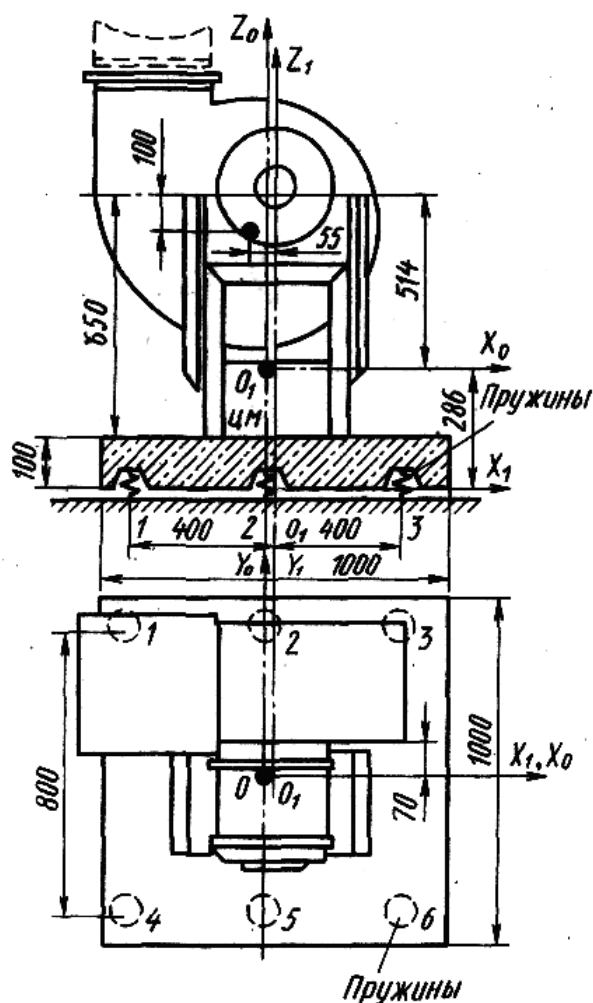


Рис. 6.6. Эскиз виброизолированного вентилятора

Вес вентилятора, $Q_V = 1800$ Н.

Вес плиты, $Q_P = 3300$ Н.

Частота вращения вала, $N = 1450$ об/мин.

Центробежная сила, $F = 900$ Н.

Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с².

Масса вентилятора и плиты m_S

$$m_S = m_1 + m_2, \text{ кг},$$

где $m_1 = Q_V / g$, $m_2 = Q_P / g$.

Моменты инерции вентилятора I_{Vi} , кг·м², относительно осей, проходящих через его центр тяжести, равные суммам произведений масс деталей на квадраты расстояний их центров масс от данной оси:

$$I_{Vx} = 0,8; \quad I_{Vy} = 82,6; \quad I_{Vz} = 64,3.$$

Размеры фундаментной плиты (длина × ширина × высота)

$$a_f \times b_f \times c_f = 1,0 \times 1,0 \times 0,15, \text{ м}.$$

Координаты центра i -й массы системы относительно осей X_1, Y_1, Z_1 :

1 – вентилятор: $x_1 = -0,055$ м; $y_1 = 0$ м; $z_1 = 0,700$ м;

2 – плита: $x_2 = 0$ м; $y_2 = 0$ м; $z_2 = 0,075$ м.

РЕШЕНИЕ.

1. Координаты центра масс системы относительно осей X_0, Y_0, Z_0 :

$$x_0 = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} = -0,019 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m_1 + m_2} = 0 \text{ м};$$

$$z_0 = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2}{m_1 + m_2} = 0,296 \text{ м}.$$

2. Моменты инерции плиты относительно осей, проходящих через его центр тяжести:

$$I_{Px} = m_2 \frac{b_f^2 + c_f^2}{12} = 28,663 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{Py} = m_2 \frac{a_f^2 + c_f^2}{12} = 28,663 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{Pz} = m_2 \frac{b_f^2 + a_f^2}{12} = 56,065 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3. Моменты инерции системы относительно осей X_0, Y_0, Z_0 :

$$I_{0x} = I_{Vx} + m_1 \left[x_1^2 + (z_1 - z_0)^2 \right] + I_{Px} + m_2 (z_0 - z_2)^2 = 76,396 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{0y} = I_{Vy} + m_1 \left[(x_1 - x_0)^2 + (z_1 - z_0)^2 \right] + I_{Py} + m_2 \left[x_0^2 + (z_0 - z_2)^2 \right] = 158,0 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{0z} = I_{Vz} + m_1 \left[(x_1 - x_0)^2 + y_1^2 \right] + I_{Pz} + m_2 x_0^2 = 120,724 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

4. Угловая частота возмущающей силы $\omega = \frac{\pi N}{30} = 151,844 \text{ с}^{-1}$.

5. Возмущающие воздействия по каждой координате

Вертикальная и горизонтальная составляющие силы F :

$$F_x = 900 \text{ Н}; \quad F_y = 0 \text{ Н}; \quad F_z = 900 \text{ Н}.$$

Координаты центра масс относительно осей X_0, Y_0, Z_0 при расстояниях:

от центра масс системы до оси рабочего вала

$$a_V = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} = 0,019 \text{ м,}$$

от центра масс вентилятора до оси рабочего вала по вертикали

$$h_V = 0,514 \text{ м,}$$

и расстояниях центра масс вентилятора от осей X_1, Y_1, Z_1 :

$$e_x = x_0 = -0,019 \text{ м; } e_y = y_0 = 0 \text{ м;}$$

$$l_x = e_x - x_0 = 0 \text{ м; } l_y = e_y = 0 \text{ м;}$$

$$l_z = a_V - h_V = -0,495 \text{ м.}$$

Суммарные крутящие моменты вокруг осей X_0, Y_0, Z_0 :

$$M_x = -F_z l_y = 0 \text{ Н} \cdot \text{м; } M_y = F_z l_x - F_x l_z = 445,129 \text{ Н} \cdot \text{м; } M_z = F_x l_y = 0 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

6. Приближенные значения амплитуд колебаний центра масс системы по осям координат:

$$Am_x = \frac{F_x}{m_S \omega^2} = 7,508 \cdot 10^{-5} \text{ м; } Am_y = 0 \text{ м; } Am_z = \frac{F_x}{m_S \omega^2} = 7,508 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

7. Приближенные значения угловых колебаний центра масс системы по осям координат:

$$\Phi m_x = \frac{M_x}{I_{0x} \omega^2} = 0 \text{ рад; } \Phi m_y = \frac{M_y}{I_{0y} \omega^2} = 1,222 \cdot 10^{-4} \text{ рад; } \Phi m_z = \frac{M_z}{I_{0z} \omega^2} = 0 \text{ рад.}$$

8. Ориентировочное значение амплитуд колебаний вала вентилятора по осям x_0, y_0, z_0 :

$$A_{Vx} = Am_x + \Phi m_y l_z - \Phi m_z l_y = 1,465 \cdot 10^{-5} \text{ м;}$$

$$A_{Vy} = Am_y + \Phi m_z l_x - \Phi m_x l_z = 0 \text{ м;}$$

$$A_{Vz} = Am_z + \Phi m_x l_y - \Phi m_y l_x = 7,508 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Вычисленные амплитуды колебаний меньше допустимой амплитуды колебаний для вентилятора, составляющей 0,022 см.

9. Требуемые значения коэффициентов эффективности виброизоляции по осям при допустимой амплитуде колебаний несущей конструкции по технологическим требованиям для машин, низко чувствительных к колебаниям, $A_0 = 0,010 \text{ мм}$:

$$Ke_x = \frac{Am_x}{A_0} = 7,508; \quad Ke_y = \frac{Am_y}{A_0} = 0; \quad Ke_z = \frac{Am_z}{A_0} = 7,508.$$

10. Ожидаемая амплитуда силы, передаваемой на несущую конструкцию:

$$Fk_x = \frac{F_x}{Ke_x} = 119,866 \text{ Н; } Fk_y = \frac{F_y}{Ke_y} = 0 \text{ Н; } Fk_z = \frac{F_z}{Ke_z} = 119,866 \text{ Н.}$$

11. Требуемый коэффициент виброизоляции по осям

$$Kv_x = \frac{Fk_x}{F_x} = 0,133; \quad Kv_y = \frac{Fk_y}{F_y} = 0; \quad Kv_z = \frac{Fk_z}{F_z} = 0,133.$$

12. Требуемый коэффициент α_j по оси Z

$$\alpha_z = \sqrt{\frac{1}{Kv_z} + 1} = 2,917.$$

В дальнейший в расчет закладываем отношение круговой частоты возмущения ω к круговой частоте собственных колебаний установки ω_{0z} равным $\alpha_z = 4,85$.

13. Тогда круговая частота собственных вертикальных колебаний установки $\omega_{0z} = \omega / \alpha_z = 31,31 \text{ с}^{-1}$, а циклическая частота, $f_{0z} = \omega_{0z} / 2\pi = 4,98 \text{ Гц}$.

14. Требуемая суммарная жесткость виброизоляции

$$Q_z = m_S \omega_{0z}^2 = 5,096 \cdot 10^5 \text{ Н/м.}$$

15. Максимальная амплитуда колебаний вентилятора (α_{\max}) при его прохождении через резонанс в режиме останова.

Предварительно находим отношение Δ_1 скорости убывания частоты вращения $\varepsilon = 0,75$ к квадрату частоты собственных колебаний f_{0z}

$$\Delta_1 = \frac{\varepsilon}{f_{0z}^2} = 0,03 \text{ м.}$$

Расчетную величину коэффициента неупругого сопротивления для стальных пружин принимают равной $\gamma_B = 0,01$. В этом случае по графику (см. рис. 6.6) находим $\alpha_{\max z} / \alpha_{mz} = 18$.

Тогда максимальная амплитуда колебаний вентилятора при его остановке

$$\alpha_{\max} = 18\alpha_{mz} = 1,352 \cdot 10^{-3}.$$

16. Наибольшая амплитуда вертикальной силы, передающейся через виброизоляторы на несущую конструкцию при остановке вентилятора

$$F_{\max} = \alpha_{\max} Q_z = 688,702 \text{ Н.}$$

При рабочем режиме амплитуда вертикальной силы,

$$Fh = \alpha_{mz} Q_z = 38,261 \text{ Н.}$$

17. Расчет пружинных виброизоляторов. Исходя из конструктивных соображений, принимаем число опор $N_0 = 6$.

Статическая нагрузка, приходящаяся на одну опору

$$F_{st} = \frac{m_S g}{N_0} = 850 \text{ Н.}$$

Динамическая нагрузка, приходящаяся на одну опору

$$F_d = \alpha_{mz} \frac{Q_z}{N_0} = 6,377 \text{ Н.}$$

Полная расчетная нагрузка на одну опору

$$F_p = F_{st} + F_d = 859,565 \text{ Н.}$$

Выбираем для пружины углеродистую сталь, для которой модуль упругости при сдвиге $G = 0,8 \cdot 10^5$ с допуском напряжением в среднем режиме работы $[\tau] = 350 \text{ МПа}$. Принимаем индекс пружины при рекомендуемом отношении её диаметра к диаметру прутка $c_p = 3,5 \dots 8,0$ и определяем коэффициент кривизны прутка

$$k = \frac{4c_p + 2}{4c_p - 3} = 1,263.$$

Расчетный диаметр прутка

$$d_p = 1,6 \sqrt{\frac{k \cdot F_p \cdot c_p}{[\tau]}} = 6,609 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Принимаем $d = 8$ мм и выбираем пружину марки ДО 42.

Средний диаметр пружины $D_{cp} = 72$ мм.

Требуемая жесткость одной пружины,

$$Q_{z1} = Q_z / N_o = 8,493 \cdot 10^4 \text{ Н/м.}$$

Расчетное число рабочих витков пружины

$$i_p = \frac{G \cdot d}{8c_p^3 Q_{z1}} = 5,662.$$

Принимаем $i = 5,6$.

Расчетная жесткость одной пружины

$$Q_{p1} = \frac{G \cdot d^4 \cdot k}{8D_{cp}^3} = 1,386 \cdot 10^5 \text{ Н/м,}$$

что выше требуемой.

Для пружины марки ДО 42 жесткость одной пружины

$$Q_1 = 1,65 \cdot 10^5 \text{ Н/м.}$$

Расчетное число пружин в одной опоре

$$N_{pp} = \frac{Q_{z1}}{Q_1} = 0,515.$$

Принимаем $N_p = 1$. Число мертвых витков $i_2 = 1,5$.

Расчетное число витков $i_{1p} = i + i_2 = 7,1$. Принимаем по каталогу $i_1 = 6,5$.

Осадка пружины от действия нагрузки F_p , $\lambda = \frac{F_p}{Q_{z1}} = 0,01$ м.

Шаг пружины, $h = d + \lambda + 0,3d = 0,021$ м.

Величина h лежит в требуемом пределе $(0,25 \dots 0,5)D = 0,018 \dots 0,036$ м.

Высота пружины, сжатой до соприкосновения витков предельной нагрузкой, $H = (i_1 - 0,5)d = 0,048$ м.

Высота ненагруженной пружины, $H_0 = H + i_1(h - d) = 0,129$ м.

Высота пружины под нагрузкой F_p , $H_F = H_0 - \lambda = 0,119$ м.

Жесткость пружины в горизонтальной плоскости, Н/м

$$Q_{g1} = \frac{3,5Q_1 \left(1 - \frac{\lambda}{0,7H_0}\right)}{1,3 + \left(\frac{H_F}{D_{cp}}\right)^2} = 1,269 \cdot 10^5.$$

Выбранное число опор пружинных виброизоляторов, необходимое для обеспечения прочности

$$n = \frac{N_0 \cdot F_{st}}{\frac{\pi d^2 [\tau]}{8k \cdot c_p} - 1,5 F_d} = 4,06.$$

Условие $n < N_0$ выполняется

Координаты центра жесткости x_k, y_k, z_k в системе координат X_0, Y_0, Z_0 :
при координатах пружин по оси X_0 : $x_j = (-0,4; 0; 0,4; -0,4; 0; 0,4)$;

$$x_k = \frac{Q_{z1}}{Q_z} \sum_{j=1}^6 x_j = 0 \text{ м};$$

при координатах пружин по оси Y_0 :

$$y_j = (0,4; 0,4; 0,4; -0,4; -0,4; -0,4);$$

$$y_k = \frac{Q_{z1}}{Q_z} \sum_{j=1}^6 y_j = 0 \text{ м};$$

при координатах пружин по оси Z_0 :

$$z_j = (-0,286; -0,286; -0,286; -0,286; -0,286; -0,286);$$

$$z_k = \frac{Q_{g1}}{Q_g} \sum_{j=1}^6 z_j = -0,286 \text{ м},$$

где $Q_g = N_0 \cdot Q_{g1}$.

Частота собственных колебаний, $\omega_z = \sqrt{Q_z / m_S} = 31,308 \text{ с}^{-1}$.

Как видно, частота собственных колебаний не изменяется.

Частота собственных поступательно-вращательных колебаний $\omega_{1,2}$ виброизолированной установки в плоскости XOY_0 определяется следующим образом

$$\omega_x = \sqrt{\frac{Q_g}{m_S}} = 38,262 \text{ с}^{-1}; \quad R_y = \sqrt{\frac{I_{0y}}{m_S}} = 0,928 \text{ м};$$

$$K_{\phi y} = \sum_{j=1}^6 \left[Q_{g1} \cdot (z_j)^2 + Q_{z1} \cdot (x_j)^2 \right] = 1,166 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$L_{yx} = \sqrt{\frac{K_{\phi y}}{Q_g}} = 0,391 \text{ м}; \quad b_{yx} = \frac{L_{yx}}{R_y} = 0,422.$$

Расстояние между центром жесткости и центром масс установки по вертикали, $s = 0,286 \text{ м}$. Тогда

$$d_y = s / R_y = 0,308; \quad A = 0,5 \left(1 + b_{yx}^2 + d_y^2 \right) = 0,636;$$

$$\omega_1 = \omega_x \sqrt{A + \sqrt{A^2 - b_{yx}^2}} = 40,367 \text{ с}^{-1};$$

$$\omega_2 = \omega_x \sqrt{A - \sqrt{A^2 - b_{yx}^2}} = 15,298 \text{ с}^{-1}.$$

Аналогично определяем частоту собственных поступательно- вращательных колебаний $\omega_{3,4}$ виброизолированной установки в плоскости Y_0, Z_0

$$\omega_y = \sqrt{\frac{Q_g}{m_S}} = 38,262 \text{ с}^{-1}; \quad R_x = \sqrt{\frac{I_{0x}}{m_S}} = 0,383 \text{ м};$$

$$K = \sum [Q \cdot (z) + Q \cdot (y)] = 1,438 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$L_{xy} = \sqrt{\frac{K_{\varphi x}}{Q_g}} = 0,435 \text{ м}; \quad b_{xy} = \frac{L_{xy}}{R_x} = 1,134.$$

$$d_x = s / R_x = 0,746; \quad B = 0,5(1 + b_{xy}^2 + d_x^2) = 1,421; .$$

$$\omega_3 = \omega_y \sqrt{B + \sqrt{B^2 - b_{xy}^2}} = 57,747 \text{ с}^{-1};$$

$$\omega_4 = \omega_y \sqrt{B - \sqrt{B^2 - b_{xy}^2}} = 28,745 \text{ с}^{-1}.$$

Частота собственных вращательных колебаний установки $\omega_{\varphi z}$, 1/с

$$K_{\varphi z} = Q_{g1} \sum_{j=1}^6 [(x_j)^2 + (y_j)^2] = 2,03 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\omega_{\varphi z} = \sqrt{\frac{K_{\varphi z}}{I_{0z}}} = 41,0 \text{ с}^{-1}.$$

Отношение частоты возмущения к частоте собственных колебаний виброизолированной установки должно быть не менее 2,5:

$$\frac{\omega}{\omega_z} = 4,85; \quad \frac{\omega}{\omega_1} = 3,762; \quad \frac{\omega}{\omega_2} = 9,926; \quad \frac{\omega}{\omega_3} = 2,629; \quad \frac{\omega}{\omega_4} = 5,282.$$

В данном случае это требование выполняется.

Амплитуду вертикальных колебаний с учетом только вертикальной составляющей возмущающей силы

$$a_{0z} = \frac{F_z}{m_S \cdot \omega^2 - Q_z} = 7,842 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Определяем амплитуду горизонтальных поступательных колебаний центра масс установки a_{0x} и вращательных колебаний установки φ_{0y}

$$\Delta_{x\varphi y} = m_S \cdot I_{0y} (\omega^2 - \omega_1^2)(\omega^2 - \omega_2^2) = 4,017 \cdot 10^{13};$$

$$f = Q_g \sum_{j=1}^6 z_j = -1,306 \cdot 10^6 \text{ Н};$$

$$S = \sum_{j=1}^6 \left[Q_{g1} (z_j)^2 \right] = 6,226 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$P = \sum_{j=1}^6 \left[Q_{z1} (x_j)^2 \right] = 5,436 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$a_{0x} = \frac{f \cdot M_y - F_x (P + S - I_{0y} \omega^2)}{\Delta_{x\phi y}} = 6,454 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\phi_{0x} = \frac{f \cdot F_x - M_y (Q_g - m_S \omega^2)}{\Delta_{x\phi y}} = 9,513 \cdot 10^{-5} \text{ рад}.$$

Определяем результирующие амплитуды вынужденных колебаний i -го виброизолятора в вертикальном направлении:

$$a_{z1} = \sqrt{a_{0z}^2 + \phi_{0y}^2 (x_1)^2} = 8,716 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$a_{z2} = a_{0z}; \quad a_{z3} = a_{z1}; \quad a_{z4} = a_{z1}; \quad a_{z5} = a_{0z}; \quad a_{z6} = a_{z1}.$$

Результирующая амплитуда вынужденных колебаний i -го виброизолятора в горизонтальном направлении:

$$a_g = a_{0x} + l_z \phi_{0y} = 1,748 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Результирующие амплитуды вынужденных колебаний i -го виброизолятора в направлении оси X_0 :

$$a_{xj} = a_{0x} + z_1 \phi_{0y} = 3,733 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \quad j = 1, 2, \dots, 6.$$

Определяем результирующие амплитуды вынужденных колебаний i -го виброизолятора в вертикальном направлении:

$$P_{xj} = a_{x1} Q_{g1} = 4,735 \text{ Н}; \quad j = 1, 2, \dots, 6;$$

$$P_{zj} = a_{z1} Q_{z1} = 7,403 \text{ Н}; \quad j = 1, 2, \dots, 6.$$

Сравнение найденных значений амплитуд динамических сил, передающихся на поддерживающую конструкцию, с амплитудами динамических сил, развиваемых вентилятором ($F_x = F_z = 900 \text{ Н}$), показывает их существенное уменьшение. При таких значениях нагрузок динамический расчет строительных конструкций можно не проводить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предлагаемое учебное пособие включены лишь общие положения безопасной эксплуатации оборудования на предприятиях химического, нефтехимического и нефтеперерабатывающего производств.

Основные положения по безопасному проектированию отдельных групп машин и аппаратов на указанных предприятиях в данном пособии не рассматривались. Эти мероприятия определяются отдельными государственными стандартами, или отраслевыми техническими условиями. Так, например, описание безопасного проведения ремонтных работ теплоиспользующего оборудования приведено в литературе [15].

Поэтому при определении и назначении условий работы того или иного оборудования, не включенных в данное пособие, следует использовать соответствующие нормативные документы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Коэффициент K_T турбулизации фронта пламени в аппарате

Тип аппарата	K_T
Сосуд, в который нет притока технологической среды	1,5–2,0
Сосуд при наличии притока технологической среды, находящейся в турбулизованном состоянии; наличие внутри аппарата конструктивных элементов (лопасти, ребра и т. п.), способствующих возникновению турбулизации	2,0–5,0
Сосуд, снабженный устройством, создающим внутри его интенсивную турбулизацию технологической среды (встроенный вентилятор, тангенциальный ввод газа в аппарат с большой линейной скоростью)	5,0–10,0

Таблица П2

Значения $(dp/dt)_0$ для некоторых веществ

Вещество	$(dp/dt)_0$ МПа/с	Вещество	$(dp/dt)_0$ МПа/с
Адипиновая кислота	17,3	Полиэтилен низкого давления	48,0
Алюминий распыленный	14,7	Сера	12,5
Диметилизофталат	51,0	Сополимер акрилонитрила и винилпиридина	42,1
Диметилтерефталат	77,0	Сополимер метилметакрилата и этилакрилата	42,1
Динитроортокрезол	14,0	Сополимер метилметакрилата, стирола, бутадиена и этилакрилата	30,2
Дициклопентадиен	61,0	Сополимер стирола и акрилонитриловой кислоты	9,0
Изофталевая кислота	19,8	Сополимер стирола и малеинового ангидрида	25,0
Лигнин чистый	30,0	Сополимер этилена и малеинового ангидрида	8,5
Поливинилацетат	6,4	Терефталиевая кислота	51,0
Поливинилбутираль	12,8	Фенилофурфурольная смола	54,5
Полиоксиметилен	83,0		
Полимер акриламида	17,5		
Полимер акрилонитрила	77,3		
Полиметилметакрилат	12,8		
Полипропилен нестабилизированный	35,0		
Полипропилен стабилизированный	25,0		
Полистирол	32,0		

Полиформальдегид	26,3	Фенолформальдегидная смола	22,2
Полиэтилен высокого давления	25,6	Фталевый ангидрид	27,0

Таблица ПЗ

Значения $u_{пл}$ и ε для различных горючих смесей веществ с воздухом

Вещество	$u_{пл}$, м/с	ε	Вещество	$u_{пл}$, м/с	ε
Аммиак	0,23	7,0	Метан	0,34	8,2
Ацетилен	1,70	11,3	Метанол	0,50	8,4
Ацетилен ^{1*}	15,40	-	Окись углерода	0,33	8,3
Ацетон	0,44	9,9	Окись этилена	0,89	-
Бензол	0,48 0,45	10,0	Органические пыли	0,3-0,8	10,9
н-Бутан	2,70	9,6	н-Пентан	0,44	9,6
Водород	13,80	8,4	Пропан	0,46	9,6
Водород ^{1*}	2,20 0,39	-	Сероуглерод	0,59	8,8
Водород ^{2*}	0,43	-	Углеводороды	0,3-0,5	-
н-Гексан	0,49	9,6	Циклогексан	0,44	9,6
н-Гептан	0,41	9,6	Этилен	0,74	9,9
Диэтиловый эфир		10,2	Этиламин	0,46	10,6
Изооктан		9,1	Этиловый спирт	0,56	8,4

^{1*} Смесь с кислородом.

^{2*} Смесь с хлором.

Таблица П4

Характеристики газов и паров

Газ	Химическая формула	k_n	β	M , кг/кмоль	Параметры критической точки	
		При 0 °С и избыточном давлении 0,101 МПа			$p_{кр.т}$ (абс.), МПа	$T_{кр.т}$, К
Азот	N ₂	1,40	0,528	28,02	3,35	126,0
Аммиак	NH ₃	1,32	0,543	17,03	11,30	405,4
Аргон	Ar	1,67	0,488	39,94	4,80	150,6
Ацетилен	C ₂ H ₂	1,23	0,559	26,04	6,24	308,5
Бутан	C ₄ H ₁₀	1,10	0,585	58,12	3,89	425,0
Водород	H ₂	1,41	0,527	2,02	1,28	32,8
Воздух	-	1,40	0,528	28,96	3,77	132,5
Двуокись углерода	CO ₂	1,31	0,546	44,01	7,53	304,4
Дифтордихлорметан	CF ₂ Cl ₂	1,14	0,576	120,92	3,96	384,7
Кислород	O ₂	1,40	0,528	32,00	5,01	154,6
Метан	CH ₄	1,30	0,546	16,04	4,64	190,5
Окись углерода	CO	1,40	0,528	28,01	3,45	133,0
Пропан	C ₃ H ₈	1,14	0,576	44,09	4,27	369,8
Сероводород	H ₂ S	1,30	0,546	34,08	9,00	373,4
Хлор	Cl ₂	1,34	0,540	70,91	7,61	417,0
Этан	C ₂ H ₆	1,22	0,560	30,07	4,86	305,3
Этилен	C ₂ H ₄	1,24	0,557	28,05	5,03	282,9

Формулы для расчета параметров смесей:

$$(p_{кр.т})_{см} = \sum (p_{кр.т})_i r_i; \quad (R_y)_{см} = \frac{8314}{\sum M_i r_i};$$

$$(T_{кр.т})_{см} = \sum (T_{кр.т})_i r_i; \quad (k_{см}) = 1 + \frac{1}{\sum r_i / (k_i - 1)};$$

$$(z)_{см} = \sum (z)_i r_i; \quad M_{см} = \sum M_i r_i.$$

Таблица П5

Клапанные предохранительные пружинные полноподъемные
фланцевые типа СППК для жидких и газообразных химических
и нефтяных сред

Условное обозначение		Условия применения				Основные размеры				
Тип	Исполнение	Характеристика среды*	$t_{p\max},$ °C	$p_y,$ МПа	$p_p,$ при $t_{p\max}$	D_y	D_{y1}	L	L_1	d_c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СППК4-16	17с13нж	Н	450	1,6	0,6	50	80	130	155	30
	17нж13ст	А	600		0,66	80	100	150	175	40
	17нж32ст	ВА	200		1,6	100	125	165	205	50
СППК4Р-16**	17с17нж	Н	450	1,6	0,6	150	200	205	250	72
	17нж17ст	А	600		0,66					
	17нж92ст	ВА	200		1,6	200	250	280	320	142
СППК4-40	17с14нж	Н	450	4,0	1,5	50	80	130	155	30
	17нж14ст	А	600		1,7					
	17нж94ст	ВА	200		4,0					
СППК4Р-40**	17с25нж	Н	450	4,0	1,5	100	125	165	205	50
	17нж25ст	А	600		1,7					
	17нж93ст	ВА	200		4,0	150	200	205	250	72
СППК4-64	17с85нж	Н	450	6,4	2,4	50	80	145	160	30
	17нж85ст	А	600		2,65					
	17нж86ст	ВА	200		6,3	100	125	195	225	48
СППК4Р-64**	17с89нж	Н	450	6,4	2,4					
	17нж89ст	А	600		2,65					
	17нж79ст	ВА	200		6,3					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СППК4-160	17с80нж	Н	450	16,0	6,0	50	80	145	160	30
	17нж80ст	А	600		6,6					
	17нж87ст	ВА	200		16,0					
СППК4Р-160**	17с90нж	Н	450		6,0	80	100	165	195	38
	17нж90ст	А	600		6,6					
	17нж82ст	ВА	200		16,0					

* Принятые обозначения: Н – неагрессивная среда; А – агрессивная; ВА – высокоагрессивная.

** Предусмотрен рычаг для принудительного открытия и продувки.

Таблица П6

Исполнение фланцев
на патрубках предохранительных клапанов
типа СППК

Условное обозначение клапана	Входной патрубок		Выходной патрубок	
	Фланец по ГОСТ 12819–80 на условное давление, МПа	Исполнение ГОСТ 12815–80*	Фланец по ГОСТ 12821–80* на условное давление, МПа	Исполнение по ГОСТ 12815–80*
СППК4-16 СППК4Р-16	1,6	1	0,6	1
СППК4-40 СППК4Р-40	4,0	3	1,6 (ГОСТ 12819–80)	
СППК4-64 СППК4Р-64 СППК4-160 СППК4Р-160	6,3 16,0	7	4,0 (ГОСТ 12819–80)	2 (с выступом)

Таблица П7

Подбор пружин для предохранительных клапанов типа СППК
в зависимости от регулирования давления настройки

Условное обозначение клапана	D_y , мм	Номер пружины	Давление настройки, МПа	Условное обозначение клапана	D_y , мм	Номер пружины	Давление настройки, МПа	
СППК4-16; СППК4Р-16	50	101	0,05–0,12	СППК4-40; СППК4Р-40	100	123	0,80–0,95	
		102	0,12–0,19			124	0,95–2,00	
		103	0,19–0,35			125	2,00–3,00	
		104	0,35–0,60			126	3,00–4,00	
		105	0,60–1,00					
		106	1,00–1,60					
	80	ПО	0,05–0,13		132	0,80–1,10		
		111	0,13–0,25		133	1,10–1,50		
		112	0,25–0,45		134	1,50–2,20		
		113	0,45–0,70		301	2,20–2,80		
		114	0,70–0,95		302	2,80–3,50		
		115	0,95–1,30		303	3,50–4,00		
	100	116	1,30–1,60					
		120	0,05–0,10		СППК4-64; СППК4Р-64	50	108	2,50–3,50
		121	0,10–0,15				109	3,50–4,40
		122	0,15–0,35				138	4,40–5,00
	123	0,35–0,95	139				5,00–6,40	
		150	124		0,95–1,60		80	117
127			0,05–0,10	118	2,80–3,50			
128			0,10–0,15	119	3,50–4,40			
129			0,15–0,20	141	4,40–5,00			
130			0,20–0,30	142	5,00–6,40			
131			0,30–0,65					
132			0,65–1,10					
133			1,10–1,50					
200		134	1,50–1,60	100	125		2,50–3,00	
		304	0,05–0,80		126		3,00–4,00	
		305	0,8–1,0		144		4,00–4,80	
					145		4,80–6,40	
СППК4-40; СППК4Р-40	50	105	0,8–1,0	СППК4-160; СППК4Р-160	50	109	3,50–4,40	
		106	1,0–1,6			138	4,40–5,00	
		107	1,6–2,5			139	5,00–6,40	
		108	2,5–3,5			140	6,40–10,00	
		109	3,5–4,0			146	10,00–14,00	
						147	14,00–16,00	
	80	114	0,80–0,95		80	119	3,50–4,40	
		115	0,95–1,30			141	4,40–5,00	
		116	1,30–1,80			142	5,00–6,40	
		117	1,80–2,80			143	6,40–10,00	
		118	2,80–3,50			148	10,00–13,50	
		119	3,50–4,00			149	13,50–16,00	

Таблица П8

Коэффициенты расхода и пропускной способности для полноподъемных предохранительных клапанов, изготавливаемых Благовещенским арматурным заводом

Входной патрубок ПК D_y , мм	Диаметр седла d_c , мм	Для газообразных сред и пара		Для жидких сред	
		α_1	K_{V1} , м ³ /ч	α_1	K_{V1} , м ³ /ч
50	30	0,6	21,2	0,1	3,5
80	40	0,6	37,7	0,1	6,3
100	50	0,6	58,9	0,1	9,8
150	72	0,4	81,4	0,1	20,4
200	142	0,7	554	0,1	79,1

Таблица П9

Предохранительные клапаны пружинные фланцевые для пара и других газообразных и жидких неагрессивных сред

Условное обозначение	Условия применения			Основные размеры, мм					Тип ПК
	t_{max} , °С	p_y , МПа	P_p , МПа, при $t_{p max}$	D_y	D_{y1}	L	L_1	d_c	
17с22нж	400	1,6	1,0	50	80	122	88	25	Полноподъемный
				80	100	145	135	40	
17с24нж		4,0	2,5	50	80	115	115	43	Малоподъемный
				80	100	150	150	63	

Примечания:

1. Для клапанов 17с22нж на входных патрубках – фланцы по ГОСТ 12819–80 на $P_y = 1,6$ МПа, на выходных патрубках – по ГОСТ 12821–80* на $P_y = 1,0$ МПа с присоединительными размерами по ГОСТ 12815–80* (исполнение 1).

2. Для клапанов 17с24нж на входных патрубках – фланцы по ГОСТ 12819–80 на $P_y = 4,0$ МПа, на выходных патрубках – по ГОСТ 12819–80 на $P_y = 1,6$ МПа с присоединительными размерами по ГОСТ 12815–80* (исполнение 3 для входного патрубка и исполнение 1 – для выходного).

3. Клапаны 17с22нж в зависимости от давления настройки и условий, указанных в заказе, изготавливаются следующих исполнений: 17с22нж1 (с пределом давления настройки пружины 0,05–0,15 МПа); 17с22нж2 (0,15–0,35 МПа); 17с22нж3 (0,35–0,6 МПа); 17с22нж4 (0,6–0,9 МПа); 17с22нж5 (0,9–1,2 МПа); 17с22нж6 (1,2–1,6 МПа).

4. Клапаны 17с24нж в зависимости от давления настройки и условий, указанных в заказе, поставляются с одной из сменных пружин:

Пружина	Предел давления настройки, МПа	
	$D_v = 50$ мм	$D_v = 80$ мм
1	1,6–2,0	1,6–2,0
2	2,0–2,8	2,0–2,5
3	2,8–4,0	2,5–2,8
4	-	2,8–4,0

5. Клапаны 17с22нж и 17с24нж изготавливаются Гусь-Хрустальным арматурным заводом «Красный Профинтерн».

6. Предусмотрен рычаг для принудительного открытия и продувки.

Таблица П10

Клапаны предохранительные пружинные полноподъемные для газообразных сред

Диаметр седла d_c , мм	Эквивалентная площадь клапана $F_3 \cdot 10^6$, м ² при избыточном давлении P_y , МПа						
	0,6	1,0	1,6	4,0	10	20	32
5			16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
6			23,8	23,8	23,8	23,8	23,8
8			42,3	42,3	42,3	42,3	42,3
10			66,0	66,0	66,0	66,0	
12			95,0	95,0	95,0		
16			169	169	169		
20			264	264			
25			412	412			
32			675	675			
40			1050	1050			
50			1650				
60	2400	2400					
80	4260						
100	6680						

Таблица П11

Коэффициент B

β	Значение коэффициента B при показателе адиабаты k											
	1,0	1,135	1,24	1,30	1,40	1,66	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	10,0
0	0,429	0,449	0,464	0,472	0,484	0,513	0,544	0,582	0,612	0,659	0,721	0,789
0,04	0,438	0,459	0,474	0,482	0,494	0,524	0,556	0,594	0,625	0,673	0,736	0,800
0,08	0,447	0,469	0,484	0,492	0,505	0,535	0,568	0,607	0,639	0,687	0,752	0,823
0,12	0,457	0,479	0,495	0,503	0,516	0,547	0,580	0,620	0,653	0,702	0,768	0,841
0,16	0,468	0,490	0,506	0,515	0,528	0,559	0,594	0,635	0,668	0,719	0,786	0,861
0,20	0,479	0,502	0,519	0,527	0,541	0,573	0,609	0,651	0,685	0,737	0,806	0,878
0,24	0,492	0,515	0,546	0,541	0,555	0,588	0,624	0,668	0,702	0,756	0,826	0,891
0,28	0,505	0,529	0,552	0,556	0,570	0,604	0,641	0,686	0,721	0,776	0,844	0,903
0,32	0,520	0,545	0,563	0,572	0,587	0,622	0,660	0,706	0,743	0,798	0,860	0,913
0,36	0,536	0,562	0,580	0,590	0,605	0,641	0,680	0,728	0,765	0,818	0,874	0,922
0,40	0,553	0,580	0,598	0,609	0,625	0,662	0,702	0,751	0,788	0,836	0,887	0,931
0,44	0,573	0,600	0,620	0,630	0,647	0,685	0,727	0,775	0,808	0,852	0,899	0,938
0,48	0,594	0,622	0,643	0,654	0,671	0,711	0,753	0,797	0,827	0,867	0,909	0,944
0,50	0,606	0,635	0,656	0,667	0,685	0,725	0,765	0,807	0,836	0,874	0,914	0,947
0,52	0,619	0,648	0,669	0,681	0,699	0,739	0,777	0,817	0,845	0,881	0,919	0,950
0,54	0,632	0,662	0,684	0,695	0,714	0,752	0,789	0,827	0,854	0,888	0,924	0,953
0,56	0,646	0,677	0,699	0,711	0,729	0,765	0,800	0,837	0,862	0,894	0,928	0,956
0,58	0,662	0,693	0,715	0,726	0,743	0,778	0,811	0,846	0,870	0,900	0,932	0,959
0,60	0,678	0,710	0,730	0,741	0,757	0,790	0,822	0,855	0,878	0,906	0,936	0,962
0,62	0,695	0,726	0,745	0,756	0,771	0,802	0,833	0,864	0,886	0,912	0,940	0,965
0,64	0,712	0,742	0,760	0,770	0,785	0,814	0,843	0,873	0,893	0,918	0,944	0,967
0,66	0,729	0,758	0,775	0,784	0,798	0,826	0,853	0,881	0,900	0,924	0,948	0,969
0,68	0,748	0,773	0,790	0,798	0,811	0,838	0,863	0,889	0,907	0,929	0,952	0,971
0,72	0,780	0,803	0,818	0,826	0,837	0,860	0,883	0,905	0,920	0,939	0,959	0,975
0,76	0,812	0,833	0,846	0,852	0,862	0,882	0,901	0,920	0,933	0,949	0,966	0,979
0,80	0,845	0,862	0,873	0,878	0,886	0,903	0,919	0,935	0,945	0,959	0,972	0,983
0,84	0,877	0,891	0,899	0,904	0,910	0,924	0,936	0,949	0,957	0,968	0,978	0,987
0,88	0,908	0,919	0,925	0,929	0,933	0,944	0,953	0,962	0,968	0,976	0,984	0,991
0,92	0,939	0,946	0,951	0,953	0,956	0,963	0,969	0,975	0,979	0,984	0,990	0,994
0,96	0,970	0,973	0,976	0,977	0,978	0,982	0,985	0,988	0,990	0,992	0,995	0,997
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

**Предохранительные клапаны пружинные других типов
и размеров серийно выпускаемые арматурными заводами**

Условное обозначение и тип клапана	Условия применения					Тип присоединения к аппарату, трубопроводу	Предприятие-изготовитель
	Технологическая среда	t_{\max} , °C	P_y , МПа	$P_{p\cdot}$, МПа, при $t_{p\max}$	D_y , мм		
КВ7Ы-11-001, малоподъемный	Воздух и пар	250	0,6	0,4	20	Цапковое на входе (М33Х1.5)	Томский электромеханический завод
17Б2бк, малоподъемный	Вода и пар	180	2,5	2,1	20	Цапковое на входе (3/4"); муфтовое на выходе (3/4)	ПО «Пензтяж-промарматура»
17с11нж, малоподъемный	Аммиак, хладон и другие газообразные среды	150 225	1,6	1,5	15 25	Штуцерно-торцовое по ГОСТ 5890–78* на входе и выходе	Челябинский инструментальный завод
17с42нж, полноподъемный	Пар и другие газообразные неагрессивные среды	200	1,6	0,8	25	Цапковое на входе (М39Х2) и на выходе (М48Х2)	ПО «Киевпромар-матура»
СППКМ-100, полноподъемный	Жидкие и газообразные неагрессивные химические и нефтяные среды	450	10,0	3,8	25	Патрубки с концами под приварку, ввернутые в муфтовые концы с конической резьбой по ГОСТ 6211–81	Благовещенский арматурный завод
17с12нж	Аммиак, хладон и другие жидкие и газообразные среды	225	1,6	1,5	50	Фланцы по ГОСТ 12819–80 с присоединительными размерами по ГОСТ 12815–80* (исполнение 1)	Котельниковский арматурный завод
17с52п «	Жидкие и газообразные неагрессивные среды	120	32,0	32,0	10 15 32	Резьбовые фланцы по ГОСТ 9399–81*. концы под линзовое уплотнение по ГОСТ 9400–81; для входного патрубка – на $P_y = 32$ МПа, для выходного – на $P_y = 25$ МПа	ПО «Курганарм-химмаш»

* Предусмотрен рычаг для принудительного открытия и продувки.

Таблица П13

Типоразмерный ряд разрывных предохранительных мембран

Тип узла	P_y , МПа	Условный диаметр присоединительного трубопровода D_y , мм										
		25–125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500
Со сплошным куполом	≤0,6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	1,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	1,6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2,5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	4,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	6,4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	10,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	16,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
С куполом и прорезями	20,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	≤0,6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	1,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	1,5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	2,5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

Таблица П14

Типоразмерный ряд хлопающих разрывных мембран с плоскими или коническими зажимами

P_y , МПа	Условный диаметр присоединительного трубопровода D_y , мм								
	50–175	200	225	250	300	350	400	450	500
≤0,6	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1,6	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Таблица П15

Типоразмерный ряд и диапазон давлений разрушения
для мембран конструкции ВНИПИНЕФТЬ

Диаметр мембраны, мм	Давление разрушения, МПа, для мембран			
	из нержавеющей стали 12Х18Н10Т	из никеля НП-2	из монель-металла НМЖМц28-2,5-1,5	из титана ВТ1-0
Разрывные мембраны				
10	20–60	4–40	12–60	6–60
16	15–20	2,5–25	8–40	4–40
25	10–50	1,6–16	5–25	3–30
32	8–40	1,2–12	4–20	2–20
40	5–25	1,0–10	3–15	1,5–15
50	4–20	0,8–8	2,5–12,5	1,2–12
65	3–15	0,6–6	2–10	1,0–10
80	2,5–12,5	0,5–5	1,5–7,5	0,8–8
100	2–10	0,4–4	1,2–6	0,6–6
125	1,5–7,5	0,3–3	1,0–5	0,5–5
150	1,2–6	0,2–2	0,8–4	0,4–4
200	1,0–5			
250	0,8–4			
300	0,7–3,5			
350	0,6–3			
Хлопающие мембраны				
40	0,5–5	0,5–5	0,5–5	0,5–5
50	0,4–4	0,4–4	0,4–4	0,4–4
65	0,3–3	0,3–3	0,3–3	0,3–3
80	0,2–2	0,2–1,5	0,2–2	0,2–2
100	0,1–1,5	0,1–1	0,1–1,5	0,1–1,5
125	0,08–1,2	0,08–1	0,08–1,0	0,08–1,0
150	0,01–1,0	0,07–0,8	0,07–0,8	0,07–0,8
200	0,06			
250	0,05			
300	0,04			
350	0,03			

Таблица П16

Типоразмерный ряд и диапазон давлений разрывных мембран с разрывным стержнем конструкции ЛенНИИхиммаша

Диаметр мембраны, мм	Давление разрушения, МПа	Тип мембраны
40 50 65 80	0,7–6,4	С неподвижным ножом
100 125 150 200	0,3–4,0	С подвижными ножами
150	0,15–2,5	
300 350	0,07–2,5	

Таблица П17

Предельно допустимые температуры для мембран

Материал	Предельно допустимая температура, °С	
	разрывные мембраны	хлопающие мембраны
Нержавеющая сталь	400	450
Никель	400	300
Монель-металл	450	300
Алюминий	120	100
Медь	160	160
Фторопласт*	200	200
Полиэтилен*	60	60 3
Алюминий (фольга)	350	50
Свинец (фольга)*	150	150

* Данные относятся только к случаю, если материал применяется в качестве защитных покрытий для мембран, изготовленных из других материалов, или в качестве герметизирующих подложек для мембран с прорезями.

Таблица П18

Зависимость предельной степени нагружения (p_p/p_1)
разрывных мембран от рабочей температуры

Материал мембран	$(p_p/p_1)_{\max}$ при рабочих температурах мембраны, °С						
	20	40	60	80	100	120	
Алюминий	0,67	0,59	0,53	0,48	0,43	0,4	
Медь	0,77	0,74	0,71	0,69	0,67	0,63	
Никель	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	
Нержавеющая сталь	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,86	
Монель-металл	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	
Материал мембран	$(p_p/p_1)_{\max}$ при рабочих температурах мембраны, °С						
	150	200	250	300	350	400	500
Алюминий	–	–	–	–	–	–	–
Медь	0,60	–	–	–	–	–	–
Никель	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,81	–
Нержавеющая сталь	0,85	0,83	0,82	0,81	0,79	0,78	–
Монель-металл	0,91	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,80

Таблица П19

Значения B_1 для перегретого водяного пара в зависимости
от абсолютного давления p_1 и температуры (по ГОСТ 12.2.085–82)

p_1 , МПа	B_1 при температуре пара, °С							
	250	300	350	400	450	500	550	600
0,2	0,480	0,455	0,440	0,420	0,405	0,390	0,380	0,365
1,0	0,490	0,460	0,440	0,420	0,405	0,390	0,380	0,365
2,0	0,495	0,465	0,445	0,425	0,410	0,390	0,380	0,365
3,0	0,505	0,475	0,450	0,425	0,410	0,395	0,380	0,365
4,0	0,520	0,485	0,455	0,430	0,410	0,400	0,380	0,365
6,0		0,500	0,460	0,435	0,415	0,400	0,385	0,370
8,0		0,570	0,475	0,445	0,420	0,400	0,385	0,370
16,0			0,490	0,450	0,425	0,405	0,390	0,375
18,0				0,480	0,440	0,415	0,400	0,380
20,0				0,525	0,460	0,430	0,405	0,385
25,0					0,490	0,445	0,415	0,390
30,0					0,520	0,460	0,425	0,400
35,0					0,560	0,475	0,435	0,405
40,0					0,610	0,495	0,445	0,415

Таблица П20

Значения B_1 для насыщенного водяного пара в зависимости
от абсолютного давления p_1 (по ГОСТ 12.2.085–82)

p_1 , МПа	B_1	p_1 , МПа	B_1	p_1 , МПа	B_1	p_1 , МПа	B_1
0,2	0,530	3,0	0,500	11,0	0,535	16,0	0,580
0,6	0,515	4,0	0,505	12,0	0,540	17,0	0,590
1,0	0,510	6,0	0,510	13,0	0,550	18,0	0,605
1,5	0,505	8,0	0,520	14,0	0,560	19,0	0,625
2,0	0,500	10,0	0,530	15,0	0,570	20,0	0,645

Таблица П21

Коэффициент сжимаемости газов z

$p+0,1$ МПа	$T, ^\circ\text{C}$				$p+0,1$, МПа	$T, ^\circ\text{C}$			
	0	50	100	200		0	50	100	200
Азот, воздух					Окись углерода				
0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
10	0,98	1,02	1,04	1,05	10	0,97	1,01	1,03	1,05
20	1,03	1,08	1,09	1,10	20	1,02	1,06	1,08	1,11
30	1,13	1,16	1,17	1,18	30	1,12	1,16	1,17	1,18
40	1,27	1,26	1,25	1,24	40	1,26	1,25	1,24	1,23
100	2,05	1,94	1,80	1,65	100	2,10	1,94	1,83	1,70
Кислород					Двуокись углерода				
0,1	1,0	1,0	1,0	1,06	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
10	0,92	0,97	1,0		5	0,10	0,60	0,80	0,93
20	0,91		1,02	1,10	10	0,20	0,40	0,75	0,87
30	0,97		1,07	1,14	20	0,39	0,43	0,60	0,87
40	1,07		1,12	1,19	30	0,57	0,57	0,66	0,88
50	1,17		1,20	1,37	60	1,07	1,02	1,01	1,07
80	1,53		1,44		100	1,70	1,54	1,48	1,41
100	1,77		1,59		Водород				
					0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
					100	1,71	1,60	1,52	1,43
Метан					Этилен				
0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
10	0,78	0,90	0,96	1,0	5	0,2	0,74	0,87	0,96
15	0,73	0,88	0,95	1,01	7	0,23	0,60	0,81	0,94
20	0,77	0,89	0,96	1,02	10	0,32	0,47	0,73	0,92
30	0,90	0,96	1,01	1,08	15	0,45	0,51	0,68	0,90
50	1,20	1,20	1,20	1,20	20	0,58	0,60	0,70	0,89
100	2,03	1,87	1,74	1,62	30	0,81	0,81	0,82	0,95
					100	2,35	2,18	1,96	1,77

Таблица П22

Значения коэффициентов расхода α
для ориентировочного расчета ПУ

Тип устройства	α_1 (для газообразных сред)	α_2 (для жидких сред)
Предохранительные клапаны прямого действия: малоподъемные; среднеподъемные; полноподъемные.	0,05 0,3 0,6	0,05 0,1 0,1
Предохранительные клапаны с принудительным управлением полноподъемные.	0,6	–
Предохранительные мембраны: разрывные; с ножевым устройством	0,5 0,6	0,8 0,6

Таблица П23

Рекомендуемый металлопрокат для предохранительных мембран

Наименование и марка материала. ГОСТ	Состояние материала	Размеры металлопроката, мм		Механические свойства	
		ширина	толщина	σ_b , МПа	δ_5 , %
1	2	3	4	5	6
Сталь нержавеющая марок 08X18H10T, 12X18H10T, 12X18H9T, 12X18H9, 0X18H10 по ГОСТ 4986–79*	Мягкий	400	0,05; 0,08; 0,1; 0,12	540	35–40
	Полунагартованный		0,15; 0,2; 0,25; 0,3 0,35; 0,4; 0,45	800÷900	15–20
	Нагартованный	400–600	0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,9; 1,0	1000	5
Никель марок НП1, НП2, НП3, НП4 по ГОСТ 2170–73*	Мягкий	175	0,05; 0,055; 0,06 0,07; 0,08; 0,09; 0,1	400 450	35 10
	Полутвердый		0,12; 0,13; 0,15; 0,18; 0,2; 0,22; 0,25; 0,3	550	2
	Твердый	200	0,35; 0,4; 0,45		
		300	0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,9; 1,0		
Монель-металл НМЖМц28-2,5-1,5 по ГОСТ 5187–70*	Мягкий	175 250	0,1; 0,12; 0,15 0,18; 0,2; 0,22; 0,25	450	25
	Полутвердый	300	0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 1,0	580	4–1,5

Бронза бериллиевая БрБ2 по ГОСТ 1789–70*	Мягкий	100	0,02–0,1	400–600	20–30
	Твердый	250	0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,16; 0,18; 0,2; 0,22; 0,23; 0,25; 0,28; 0,3; 0,32; 0,35; 0,4; 0,45	600–900	2–3
		300	0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 1,0		
Латунь марок Л90, Л85, Л80, Л68, Л63	Мягкий	175	0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09	240–420	35–42
	Полутвердый	300	0,1; 0,12; 0,14; 0,15; 0,16	300–480	10–20
	Твердый		0,17; 0,18; 0,2; 0,22	380–550	3–10
	Особо твердый	25–600	0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 1,0	530	–
Алюминий марок АО, А5, А6, А7, АДО, АД, АД1 по ГОСТ 618–73*	Мягкий	600	0,005–0,012	30–40	25–30
	Твердый	960	0,014; 0,016; 0,018; 0,02; 0,025; 0,03; 0,035; 0,04; 0,045; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,18; 0,2	100–120	2–3
Алюминий марок АО, А5, А6, А7, АДО, АД1 по ГОСТ 21631–76*	Мягкий	1000Х Х2000 (лист)	0,5; 0,6; 0,7	60	20–28
Алюминий марок АДО, АД1, Амц, АмцС, АВ, Амг2 по ГОСТ 21631–76*	Мягкий	1000Х Х2000 (лист)	0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5; 1,6; 1,8; 1,9; 2,0	90	16–25
Алюминий марок АДОО, АДО, АД, АД1, АО, А, А5, А6, А7 по ГОСТ 13726–78*	Мягкий		0,25; 0,3; 0,4	60	20–25
	Твердый	300–1000	0,5; 0,6; 0,7; 0,8	150	3–4
Медь марок М1, М2, М3 по ГОСТ 1173–77*	Мягкий	175–300	0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,12; 0,14; 0,15; 0,16; 0,18; 0,2; 0,22; 0,25	200	30
	Твердый	До 600	0,28; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 1,0; 1,05; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5	300	3

Таблица П24

Значения опытных коэффициентов для расчета
хлопающих мембран из различных материалов

Материал мембраны	Тип уплотнения мембраны	K_1	K_2	$E \cdot 10^{-5}$ МПа	Максимальная рабочая температура, °С
Алюминий	Плоский	0,30	1,4	0,7	До 100
	Конический	0,40	1,6		
Никель	Плоский	0,40	–	2,1	До 300
	Конический	0,48	–		
Нержавеющая сталь	Плоский	0,40	–	2,1	До 450
	Конический	0,45	–		

Таблица П25

Коэффициент сжимаемости реального газа B_4

	$P_1 + 0,1$, МПа	Значение B_4 при $T_1, K (t_1, °C)$			
		273 (0)	323 (50)	373 (100)	473 (200)
1	2	3	4	5	6
для азота, воздуха	0	1,00	1,00	1,00	1,00
	10,0	0,98	1,02	1,04	1,05
	20,0	1,03	1,08	1,09	1,10
	30,0	1,13	1,16	1,17	1,18
	40,0	1,27	1,26	1,25	1,24
	100,0	2,03	1,94	1,80	1,65
для водорода	0	1,00	1,00	1,00	1,00
	100,0	1,71	1,60	1,52	1,43
для кислорода	0	1,00	1,00	1,00	1,00
	10,0	0,92	0,97	1,00	–
	20,0	0,91	–	1,02	1,06
	30,0	0,97	–	1,07	1,10
	40,0	1,07	–	1,12	1,14
	50,0	1,17	–	1,20	1,19
	80,0	1,53	–	1,44	1,37
	100,0	1,77	–	1,59	–
для метана	0	1,00	1,00	1,00	1,00
	10,0	0,78	0,90	0,96	1,00
	15,0	0,73	0,88	0,95	1,01
	20,0	0,77	0,89	0,96	1,02
	30,0	0,90	0,96	1,01	1,08
	50,0	1,20	1,20	1,20	1,20
	100,0	2,03	1,87	1,74	1,62

Окончание табл. П25

1	2	3	4	5	6
для окиси углерода	0	1,00	1,00	1,00	1,00
	10,0	0,97	1,01	1,03	1,05
	20,0	1,02	1,06	1,08	1,11
	30,0	1,12	1,16	1,17	1,18
	40,0	1,26	1,25	1,24	1,23
	100,0	2,10	1,94	1,83	1,70
для двуокиси углерода	0	1,00	1,00	1,00	1,00
	5,0	0,10	0,60	0,80	0,93
	10,0	0,20	0,40	0,75	0,87
	20,0	0,39	0,43	0,60	0,87
	30,0	0,57	0,57	0,66	0,88
	60,0	1,07	1,02	1,01	1,07
100,0	1,70	1,54	1,48	1,41	
для этилена	0	1,00	1,00	1,00	1,00
	5,0	0,20	0,74	0,87	0,96
	7,0	0,23	0,60	0,81	0,94
	10,0	0,32	0,47	0,73	0,92
	15,0	0,45	0,51	0,68	0,90
	20,0	0,58	0,60	0,70	0,89
	30,0	0,81	0,81	0,82	0,95
	100,0	2,35	2,18	1,96	1,77

Виброизоляторы
(ДО-38 | ДО-39 | ДО-40 | ДО-41 | ДО-42 | ДО-43 | ДО-44 | ДО-45)

Общие сведения		
<p>Деформация (осадка пружины) под нагрузкой, отличающейся от указанной в таблице, изменяется пропорционально нагрузке.</p> <p>Для виброизоляторов всех типов общее число витков пружины 6,5.</p> <p>Для виброизоляторов ДО 38, ДО 39 $S=2$ мм, для остальных – $S = 3$ мм</p>		<p>1 - ПЛАНКА 2 - ПРУЖИНА 3 - ШАЙБА СТАЛЬНАЯ 4 - ШАЙБА РЕЗИНОВАЯ 5 - ПРОКЛАДКА РЕЗИНОВАЯ</p>

Таблица П27

Технические характеристики виброизоляторов

Марка	Вертикальная жесткость, Н/мм	Высота в свободном состоянии мм	Осадка пружины под нагрузкой, мм		Число рабочих витков	Размеры, мм							Масса, кг
			$P_{\text{раб}}$	$P_{\text{пр}}$		А	А ₁	Б	D_{cp}	d	d_1	d_2	
ДО 38	45	72	27	33,7	5,6	100	70	60	30	3	12	8,5	0,3
ДО 39	61	92,5	36	45	5,6	110	80	70	40	4	12	8,5	0,4
ДО 40	81	113	41,7	52	5,6	130	100	90	50	5	12	8,9	1
ДО 41	124	129	43,4	54	5,6	130	100	90	54	6	14	10,5	1
ДО 42	165	170	57,2	72	5,6	150	120	110	72	8	14	10,5	1,8
ДО 43	294,3	192	56	70	5,6	160	130	120	80	10	14	10,5	2,4
ДО 44	357	226	66,5	83	5,6	180	150	140	96	12	14	10,5	3,65
ДО 45	441,5	281	84,5	106	5,6	220	180	170	120	15	16	12,5	6,45