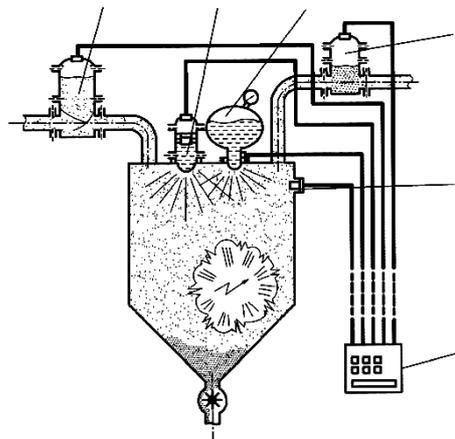

М.А. ПРОМТОВ, В.Я. БОРЩЕВ, Г.С. КОРМИЛЬЦИН

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

М.А. ПРОМТОВ, В.Я. БОРЩЕВ, Г.С. КОРМИЛЬЦИН

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Утверждено Ученым советом университета
в качестве учебного пособия



Тамбов
Издательство ТГТУ
2008

УДК 66.001
ББК Л11-5-08
П811

Рецензенты:

Профессор, заведующий кафедрой
«Техника и технологии машиностроительных производств» ТГТУ
А.Г. Ткачев

Кандидат технических наук, доцент,
главный инженер, председатель Научно-технического совета
ОАО «Завод "Комсомолец" им. Н.С. Артемова»
В.А. Богущ

Промтов, М.А.

П811

Безопасная эксплуатация технологического оборудования :
учеб. пособие / М.А. Промтов, В.Я. Борщев, Г.С. Кормильцин. –
Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с. – 100 экз. –
ISBN 978-5-8265-0700-1.

Рассмотрены общие сведения о безопасной эксплуатации технологического оборудования химических и смежных производств, технические элементы, обеспечивающие его безопасную эксплуатацию. Описаны методы и средства взрывозащиты, основы диагностики технологического оборудования.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальностям 240801 «Машины и аппараты химических производств», 280102 «Безопасность технологических процессов и производств». Может быть полезно инженерам-механикам, работающим на предприятиях химического профиля.

УДК 66.001
ББК Л11-5-08

ISBN 978-5-8265-0700-1

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2008

Учебное издание

ПРОМТОВ Максим Александрович,
БОРЩЕВ Вячеслав Яковлевич,
КОРМИЛЬЦИН Геннадий Сергеевич

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Редактор Т.М. Г л и н к и н а
Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. З о т о в а

Подписано в печать 29.04.2008
Формат 60 × 84 / 16. 4,65 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 217

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия независимо от их организационно-правовых форм собственности, эксплуатирующие опасные производственные объекты, в своей деятельности должны руководствоваться Федеральными законами и нормативными положениями, которые направлены на предупреждение аварий и локализацию их последствий при создании и эксплуатации опасных производственных объектов. В связи с этим, в первую очередь, необходимо отметить Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. и «Общие правила промышленной безопасности для организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов» ПБ 03-517-02.

В последние десятилетия техногенные катастрофы и аварии в нашей стране и за рубежом, повлекшие большие человеческие жертвы, заставили резко изменить отношение общества к проблеме безопасности населения и окружающей среды. Основные причины роста числа аварий и катастроф – это критический уровень износа оборудования, нарушение производственной и технологической дисциплины, ослабление контроля государственных органов.

Условиями безопасной работы технических объектов являются грамотная эксплуатация, диагностика и своевременный ремонт оборудования. В данном учебном пособии рассматриваются основы безопасной эксплуатации технологического оборудования, технические устройства для предотвращения опасного воздействия на человека и технические объекты, методы неразрушающего контроля и диагностики оборудования.

Настоящее учебное пособие поможет студентам технических вузов изучить основы безопасной эксплуатации машин и аппаратов химических и смежных производств, техническое оборудование, предназначенное для предотвращения аварий на технических объектах, основы диагностики и ремонта технологического оборудования опасных производственных объектов.

Учебное пособие соответствует требованиям к уровню подготовки студентов, изложенным в Государственных образовательных стандартах по специальностям 240801 – Машины и аппараты химических производств, 280102 – Безопасность технологических процессов и производств.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МАШИНАХ И АППАРАТАХ ХИМИЧЕСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

По характеру воздействия на продукт технологическое оборудование делится на машины и аппараты.

Машина – механическое устройство, состоящее из согласованно работающих частей и осуществляющее определенные целесообразные движения для преобразования энергии, материала или информации.

В соответствии с данным определением различают три класса машин: машины-двигатели, технологические и вычислительные машины. Машины-двигатели преобразуют один вид энергии в другой (электродвигатели, генераторы, двигатели внутреннего сгорания и т.д.). Вычислительные машины служат для преобразования информации. Технологические машины предназначены для выполнения технологического процесса в соответствии с заданной программой. Отличительной особенностью технологической машины является наличие движущихся рабочих органов, непосредственно воздействующих на продукт. При этом под воздействием рабочих органов машины изменяются физические свойства, форма, положение обрабатываемого материала, т.е. материал претерпевает механическое воздействие. Следует отметить, что в машинах химических и смежных производств (производство строительных материалов, фармацевтических и косметических продуктов, нефтегазопереработка и т.д.) технологический процесс помимо механического воздействия на обрабатываемый материал может сопровождаться одним или совокупностью типовых процессов химической технологии – химическое превращение, межфазный массообмен, нагрев, изменение агрегатного (фазового) состояния веществ и др.

Кроме того, в машинах химических производств возможно протекание технологических процессов при высоких (низких) температурах и давлениях. Данное обстоятельство накладывает дополнительные требования к разработке правил безопасной эксплуатации оборудования.

Машины химических производств являются сложным техническим объектом, состоящим из большого числа взаимодействующих элементов. Как правило, машина состоит из следующих функциональных систем: корпуса, устройств для подачи и отвода основных и вспомогательных материалов, исполнительных механизмов, привода, системы обогрева или охлаждения рабочих зон, системы контроля технологических параметров и управления машиной, смазочных устройств. В отдельных случаях некоторые из перечисленных систем могут отсутствовать, например система обогрева.

К технологическому оборудованию, кроме технологических машин, относятся аппараты, для которых характерно наличие реакционного пространства или рабочей камеры. В *аппаратах* осуществляются тепловые, электрические, физико-химические и другие воздействия. При этом происходит изменение физических или химических свойств или агрегатного состояния обрабатываемого продукта.

Технологическое оборудование классифицируется в соответствии с Общероссийским классификатором продукции ОК 005-93.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.2.1. Безопасная эксплуатация машин химических производств

Для безопасной эксплуатации машин химических и смежных производств (измельчители, смесители, центрифуги, центробежные сепараторы, фильтры и др.) должен выполняться ряд общих требований, исполнение которых обеспечивает их безопасную работу. Среди таких основных требований отметим следующие:

- все движущиеся и передаточные механизмы (клиноременные передачи, муфты и т.д.) должны иметь ограждения, предохраняющие доступ к ним во время работы;
- при обработке вредных продуктов должно обеспечиваться хорошее уплотнение валов, разъемных соединений (крышки, штуцеры, клапаны) и других элементов конструкций, где возможно просачивание продуктов в окружающую среду;
- пусковые устройства должны располагаться таким образом, чтобы оператор имел возможность просматривать все рабочие места и проходы около работающей машины;
- машина должна быть немедленно остановлена при возникновении недопустимо большой вибрации, изменения характера шума во время работы (резкие звуки, стуки), нагреве подшипников выше нормы;
- машина должна быть обязательно заземлена, чтобы обеспечить безопасность обслуживающего персонала от статического электричества и предотвратить возможное возгорание пыли в некоторых машинах.

Рассмотрим общие условия безопасной работы для некоторых машин химических и смежных производств.

Общими условиями безопасной работы для *измельчающих машин* являются:

- механизированная равномерная загрузка и выгрузка материалов;
- предотвращение выброса материала из машины;
- установка устройств, предупреждающих поломку деталей и обеспечивающих быстрый останов машины в случае поломки;
- меры по предотвращению или уменьшению пыления.

Для предотвращения пылевыведения измельчающие машины должны быть закрыты, обеспечены аспирационными отсосами, блокируемыми с пусковыми устройствами и поддерживающими внутри машины небольшое разрежение.

Чтобы исключить загорание и взрыв пыли при измельчении угля, серы и других горючих материалов, а также многих органических веществ, необходимо устранить возможность воспламенения прежде всего от статического электричества (например, заземлением), поддерживать высокую концентрацию пыли, при которой она не способна воспламениться, в отдельных случаях вести процесс в среде инертного газа.

В *шнековых и конусных дробилках* для удаления металлических предметов в местах загрузки на пути транспортирования должны быть установлены магнитные ловушки.

В *дезинтеграторах, молотковых дробилках и мельницах* имеется опасность выброса центробежной силой износившихся частей пальцев или бил, поэтому корпус этих машин должен быть достаточно прочным.

При эксплуатации *вибрационных мельниц* особую опасность представляют вибрация и шум. Для снижения шума и вибраций следует применять относительно «мягкие» опорные элементы, гасящие вибрацию, передаваемую на опорные конструкции. Обычно мельницы работают в сверхрезонансном режиме с соотношением частот вынужденных и собственных колебаний более 4:1. Рабочие места, где находится обслуживающий персонал, должны быть установлены на вибрационных прокладках из пористой резины, или рабочих следует снабдить специальной противовибрационной одеждой – ботинками и перчатками, в которых изолирующим материалом служит мягкая крупнопористая резина.

Уровень шума существенно увеличивается при ослаблении креплений пружин-амортизаторов, поэтому при профилактических осмотрах помимо ревизии технического состояния узлов и деталей мельниц особое внимание следует обращать на состояние узлов крепления пружин, футеровки, люков и т.п.

Корпус мельницы сильно нагревается, поэтому он должен быть защищен ограждениями, исключающими возможность контакта обслуживающего персонала с нагретыми частями мельниц.

Большинство *смесителей* имеют движущие части, поэтому к ним предъявляются требования, как и к другим машинам химических производств.

Смесители периодического действия для сыпучих материалов должны иметь аспирационные системы, осуществляющие отсасывание пылевоздушной массы от разгрузочных и загрузочных штуцеров и последующее отделение пыли от воздуха.

При эксплуатации смесителей для полимерных материалов следует контролировать исправность системы охлаждения корпуса и ротора смесителя, так как в случае превышения температуры установленного предела может нарушиться технологический процесс, возникнуть дополнительные напряжения в элементах машины, что приведет к нарушению герметичности машины, уменьшению зазоров в подшипниках, заклиниванию роторов и в итоге к поломке. В смесителях для высоковязких материалов предъявляются повышенные требования к защите двигателей от перегрузки.

Как внутри смесителя, так и во время его открытия возможно образование взрывоопасной смеси, поэтому необходимо строго соблюдать установленные режимы вентиляции, использовать инертные газы, особенно в тех случаях, когда горючие газы выделяются в самом процессе смешения.

Центрифуги представляют собой быстроходные машины, поэтому особенно внимательно нужно следить за вращением барабана. При нарушении балансировки ротора, когда появляется заметная визуальная вибрация, центрифугу необходимо немедленно остановить.

При работе центрифуг важными факторами безопасности являются соответствие обрабатываемого продукта условиям эксплуатации, непрерывная и равномерная загрузка ротора. Перед пуском центрифуги следует убедиться в отсутствии посторонних предметов внутри барабана. В процессе работы нужно систематически контролировать количество масла в подшипниках привода (его должно быть достаточно); состояние шаровых опор в подвесках колонок и станины; надежность крепления всех узлов; состояние ограждения гидромuffты, шкива и ремней.

После каждого ремонта ротора необходимо произвести его статическую и динамическую балансировку.

1.2.2. Безопасная эксплуатация теплообменных аппаратов

Безопасная работа теплообменников предполагает:

- контроль давления и температуры в теплообменниках, исключающий превышение их допустимых пределов;
- систематическое наблюдение за состоянием конденсатоотводчиков, предохранительных клапанов и воздушных кранов, которые служат для отвода из парового пространства аппарата воздуха или других неконденсирующихся газов и которые следует держать приоткрытым так, чтобы температура поверхности отводящей трубы составляла примерно 50 °С;
- контроль качества тепловой изоляции теплообменников, так как обнаженные поверхности аппарата могут стать причиной ожога при случайном соприкосновении.

В вакуумных аппаратах необходимо наблюдать за разрежением, а в кожухотрубных – за компенсацией температурных напряжений.

Правильная эксплуатация теплообменника требует систематической очистки поверхности его элементов от загрязнений. Для этого используются механический, химический, гидравлический, термический способы очистки.

В теплообменниках-испарителях, обогреваемых топочными газами, уровень жидкости в испарителе не должен быть ниже так называемого «огневого» уровня, поскольку корпус аппарата может чрезмерно нагреваться с появлением в нем температурных напряжений. Недопустимо переполнение закрытого сосуда жидкостью.

1.2.3. Безопасная эксплуатация массообменных колонных аппаратов

В процессе эксплуатации корпуса аппаратов подвергаются механическому и коррозионному износу и постепенно теряют надежность. Чтобы предотвратить выход аппарата из строя, необходим систематический надзор и уход за ним как в процессе эксплуатации, так и при ремонтах. Лишь при строгом соблюдении правил эксплуатации можно обеспечить длительную работоспособность аппарата и предупредить аварии. Каждый аппарат должен использоваться только в соответствии с его конструктивным назначением и для тех сред и параметров, на которые рассчитан металл аппарата. Аппараты должны быть снабжены предусмотренными проектами предохранительными и защитными устройствами.

Особая ответственность требуется при эксплуатации аппаратов, работающих под давлением. Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, утвержденными Ростехнадзором, предусматривается, в частности, снабжение аппарата приборами для измерения давления и температуры среды, предохранительными устрой-

ствами и запорной арматурой. Аппарат, работающий при изменяющейся температуре стенок, должен быть снабжен приборами по длине корпуса и реперами (контрольными планками) для контроля тепловых перемещений.

Дополнительные меры безопасности предусматриваются для массообменных аппаратов, в которых обрабатываются вещества, склонные к окислению с образованием полимерных и других высоковязких, губчатых материалов, способных закупорить трубопроводы, в результате чего давление может превысить заданное (например, при обработке диеновых и ацетиленовых углеводородов). В таких случаях общими мерами безопасности являются применение эффективных ингибиторов процессов полимеризации и поликонденсации и ведение процессов в «мягких» режимах (при низких оптимальных температурах и давлениях, под вакуумом и т.д.).

Условия безопасной эксплуатации исключают: ремонт аппаратов во время их работы; неисправность арматуры, контрольно-измерительных приборов и предохранительных устройств; невыполнение инструкций по режиму работы и обслуживания. При аварийных ситуациях аппарат должен быть остановлен согласно действующей на предприятии инструкции.

Особенно тщательно контролируют корпуса аппаратов, коррозия которых не просто приводит к нарушению их прочности, но опасна еще и тем, что продукты коррозии могут загрязнить содержащийся в аппарате продукт, закупорить трубопроводы малого сечения, теплообменники и другие аппараты, связанные единой технологической схемой. Поэтому необходимо стремиться к предотвращению коррозии аппаратов любой интенсивности и характера.

Чтобы снизить опасность образования взрывных смесей, массообменные аппараты размещают на открытых площадках. Вынос оборудования на открытые площадки позволяет уменьшить воздействие тепловыделений на обслуживающий персонал, снизить опасность отравлений токсичными газовыделениями, исключить необходимость устройства дорогостоящей вентиляции.

1.2.4. Безопасная эксплуатация реакторов

Бесперебойная и безопасная работа контактных аппаратов с *неподвижным слоем катализатора* достигается при строгом обеспечении устойчивости как экзотермических, так и эндотермических процессов при любых гидродинамических условиях. Во избежание нарушения режима фильтрации газа через слой катализатора необходим определенный гранулометрический состав катализатора. При регенерации и замене катализатора возникает опасность загорания, отравлений и термических ожогов. Поэтому перед регенерацией контактный газ, а после регенерации воздух вытесняют из реакторов водяным паром или инертным газом. Загрузка и выгрузка катализатора должны проводиться пневматически через бункер и циклон или с помощью подъемных механизмов.

В реакторах с гранулированным *движущимся слоем катализатора* главной опасностью является прорыв контактного газа из реактора в регенератор через транспортную систему. Эта опасность предотвращается путем подачи инертного газа в участки, через которые контактный газ может проникнуть в регенератор, а также при установке специальных затворов. Опасно также образование пыли от истирания катализатора, что приводит к нарушению гранулометрического состава зерен и неравномерной фильтрации газа через поток катализатора. От пыли избавляются при смене катализатора в системе.

Нарушение нормальной работы блока реактор-регенератор с движущимся слоем катализатора возможно, например, при падении давления воздуха или азота и повышении давления в реакторе вследствие остановки компрессора. Для предотвращения аварии необходимо прекратить подачу исходных веществ в реактор и стравить газ во всасывающую линию компрессора.

В реакторах и регенераторах с *псевдооживленным пылевидным катализатором* происходит его истирание и унос образовавшейся пыли отходящими газами. Для улавливания катализаторной пыли используются электрофильтры или аппараты мокрой очистки. Опасна подача пара или газа в транспортную линию, поскольку это вызывает прекращение кипения катализатора и быстрое его оседание. В этом случае пары органических веществ могут попасть в регенератор, что приводит к их возгоранию. Для предотвращения аварии необходима остановка всей системы.

В *реакторах полного смешения* в связи с большим объемом реакционного пространства возможно неравномерное контактирование поступающих продуктов, вследствие чего развиваются нежелательные побочные реакции и вторичные процессы. Чтобы исключить это явление, в аппаратах предусматривают устройства для лучшего перемешивания. В современных конструкциях используют бессальниковые приводы с экранированным электродвигателем, так как в реакторах с мешалками герметизация сальников вала представляет собой трудную задачу.

В *колонных реакторах высокого давления* основным фактором надежности и безопасности работы является автоматизация системы защиты, позволяющая при возникновении аварийной ситуации перевести в безопасное состояние весь агрегат. Для наиболее ответственных органов управления предусматривают так называемый третий автономный источник питания, к которому можно подключить электроприводы вентилялей, установленных на основных технологических потоках, системы сигнализации и блокировок, дублирующие приборы для измерения параметров систем, наиболее опасных в аварийном отношении.

Реакционные аппараты, работающие под давлением, которое создается в результате реакции, кроме инспекторских испытаний, подвергаются испытаниям на герметичность после каждого вскрытия аппарата. Эти испытания проводят давлением воздуха или инертного газ.

1.2.5. Безопасная эксплуатация сушилок и технологических печей

В *сушилках непрерывного действия* места выгрузки и загрузки твердых пылящих материалов должны быть по возможности герметизированы и обеспечены вытяжной вентиляцией. При сушке вредных веществ применяются вакуумные аппараты, которые позволяют лучше улавливать пыль, вредные испарения и снижать температуру сушки.

Взрывоопасные продукты сушат в токе инертного газа, который циркулирует по замкнутой системе. Влага и органические вещества извлекаются из газа в герметически закрытом скруббере, газ после скруббера нагревается калорифером и возвращается в сушилку. Иногда взрывоопасный продукт смешивают с негорючим инертным наполнителем и су-

шат полученную пасту. При сушке в кипящем слое могут образовываться застойные зоны, в которых происходит комкование продукта, вызывающее его перегрев, а иногда разложение и загорание. Для устранения этого явления сушилки оборудуют рыхлителями, подвижными решетками, предусматривают пульсирующую подачу газа и т.п.

В процессе сушки при движении и трении частиц продукта возможны их электризация и образование зарядов статического электричества. Наиболее сильно электризация проявляется в аппаратах с взвешенным слоем при сушке органических веществ, особенно пластмасс. Для предотвращения накопления статического электричества применяют специальные устройства для его снятия.

При сушке пожароопасных продуктов необходимо предусматривать в сушилке устройства автоматического водяного и парового пожаротушения. Например, при сушке каучука предусмотрены трубопроводы водяного пожаротушения, постоянно находящиеся под давлением воды. Они расположены над верхними ветвями конвейеров с вмонтированными спринклерными головками, автоматически срабатывающими при температуре 182 °С. Трубопроводы парового пожаротушения размещены под верхними ветвями конвейеров. Пар в них подается при открывании одного из двух запорных вентилей, расположенных у приемного бункера сушилки и под площадкой привода конвейера. Выходя через отверстия в трубах, пар заполняет рабочий объем сушилки, тем самым препятствуя доступу кислорода в зону горения.

Печи, применяемые в химической промышленности, можно разделить на две основные группы – реакционные аппараты и печи для получения теплоты, необходимой для технологического процесса.

Для всех видов печей характерными опасностями являются возгорание, хлопки и взрывы, при этом обслуживающий персонал может подвергнуться термическим ожогам и отравлению продуктами сгорания. Для обеспечения безопасной работы особое внимание необходимо уделить выбору огнеупорных и связующих материалов для футеровки внутреннего рабочего пространства печей. В печах, работающих на жидком и газообразном топливе, возможны выбросы пламени, хлопки и взрывы при неправильном розжиге или нарушении процесса горения, в случае подачи топлива при пуске печи без запала или при внезапном прекращении и возобновлении подачи топлива в печь. Чтобы избежать взрывов, топку печи обязательно оборудуют пусковым запальным устройством, блокированным с устройством подачи топлива в печь. При любом срыве пламени в печи необходимо перекрыть подачу топлива и продуть паром топочное пространство, чтобы удалить взрывоопасную смесь. Предотвратить возможность взрыва газовых смесей внутри печи позволяет применение беспламенных панельных горелок, теплоотдача в которых осуществляется не от газового факела, а от раскаленных стенок печи. Для защиты печей от разрушений при небольших взрывах в торцевых стенках предусматриваются выхлопные окна или предохранительные легко разрушаемые панели.

Одно из важнейших условий безопасной эксплуатации печей – наличие тяги, создаваемой дымососами или дымовыми трубами. Для повышения безопасности труда рабочие отверстия печей закрываются заслонками с запорными устройствами и термоизоляционными покрытиями. Открывание и закрытие заслонок должно быть механизировано. Смотровые окна следует закрывать синими стеклами для ограничения интенсивности излучения.

В случае применения жидкого топлива (мазута) расходные хранилища располагают изолированно от печи. Они должны иметь вентиляцию, измеритель уровня, переливные линии без запорной арматуры для предотвращения переполнения емкости и спусковые линии, соединенные с аварийной емкостью, установленной вне печного помещения. В печах, предназначенных для получения теплоты, необходимой для технологического процесса, в качестве теплоносителя широко используется водяной пар. Особые свойства пара как теплоносителя состоят в том, что с повышением его температуры значительно возрастает давление в трубах. Поэтому насыщенный водяной пар применяют при температурах до 180... 190 °С, а это возможно при его давлении 1,0...1,2 МПа. Наличие давлений в системах всегда сопряжено с отрицательными явлениями, поэтому используют и другие высокотемпературные жидкие теплоносители, не имеющие этого недостатка, например, производные ароматических углеводородов (масла), которые позволяют получать температуру нагрева до 400 °С при атмосферном давлении, или неорганические теплоносители (расплавленные соли и металлы), с помощью которых при атмосферном давлении осуществляется нагрев до 800 °С и выше.

1.2.6. Безопасная эксплуатация трубопроводов

Основным назначением технологических трубопроводов является транспортировка жидких и газообразных продуктов в системе производственных установок. Количество трубопроводов, как правило, велико. В нефтехимической промышленности стоимость технологических трубопроводов достигает 25 % стоимости всего оборудования.

Подводящие трубопроводы, а также насосы и клапаны значительно более уязвимы, чем сосуды под давлением, и поэтому выступают потенциальной причиной аварий. При проектировании промышленных трубопроводов в связи со спецификой эксплуатационных условий учитывают: возможность образования загазованной зоны (из-за неплотностей конструкций), представляющей опасность, особенно при прокладке газопроводов внутри помещений; корродирующее воздействие как наружной, так и внутренней сред, особенно при наличии в них серы и других агрессивных примесей; абразивное воздействие потока взвешенных частиц в газе; влияние на сооружение технологического и атмосферного температурного режимов.

Условия, возникающие в трубопроводах от внешних нагрузок и температурных напряжений, а также передаваемые на оборудование, должны быть минимальны, что достигается при оптимальных схемах компоновки трубопроводной системы минимальной жесткости и применении специальных компенсаторных звеньев. Трубопроводные системы с низкой жесткостью (гибкие системы) способны компенсировать температурные напряжения за счет изгиба и поворота при рациональной расстановке опор. В жестких системах используют компенсаторы различных типов – шарнирные, продольно-подвижные и др.

В технологических процессах, протекающих в условиях высоких давлений и температур, применяют трубопроводы высокого давления. Высокий уровень требований к этим трубопроводам определяют указанные факторы, а также пульсация давления в трубах, переменность температурных режимов, повышенный уровень вибраций, частые гидравлические удары и нередко корродирующее воздействие транспортируемых продуктов.

Надежность и безопасность эксплуатации трубопроводов требуют внешних осмотров, выборочной и генеральной ревизий, а также периодических испытаний согласно инструкциям.

В ходе периодических ревизий определяют состояние трубопровода (толщину стенки, плотность и прочность сварных швов, износ крепежных деталей) и на основании результатов устанавливают возможность его дальнейшей эксплуатации.

Наибольшему износу подвержены участки трубопровода, в которых изменяется направление потока и возникают местные гидравлические сопротивления (отводы, тройники, места установки арматуры и т.д.). Весьма надежным способом предупреждения случайного выхода трубопровода из строя по причине износа является контрольная проверка толщины стенки трубопровода (например, засверловкой).

Особенно тщательного надзора требует состояние арматуры. Она должна быть герметична. Гарантией безаварийной работы является систематическая проверка уплотнений шпинделя, который должен иметь плавный ход. Арматура должна надежно открываться и закрываться без приложения добавочных рычагов к маховику.

1.2.7. Основы безопасности при монтажных и ремонтных работах

Монтаж оборудования включает множество трудоемких операций, выполнение которых связано с применением различных машин, механизмов, приспособлений и инструментов. Безопасные условия работы обеспечиваются только при безоговорочном выполнении утвержденных инструкций, которые предполагают подготовку рабочего места, обучение и проверку знаний всего персонала, участвующего в монтаже.

Сборка оборудования осуществляется как на земле, так и в его рабочем положении. Необходимо максимально сократить объем работ на высоте, для чего отдельные блоки, собираемые на земле, должны быть максимально крупными.

Для безопасности монтажных работ наиболее важны правильная организация и последовательность сборки и монтажа технологической аппаратуры и машин.

Для предотвращения аварий при выполнении монтажных работ во взрывоопасных цехах применяются инструменты из цветного металла или покрытые медью. Запрещается применять открытый огонь и использовать механизмы, создающие возможность искробразования.

Всем участвующим в монтаже необходимо иметь надежную связь друг с другом; они должны видеть друг друга непосредственно либо передавать команды через промежуточных лиц (сигнальщиков), хорошо видимых, либо применять радиосвязь, мобильную связь. Во время подъема оборудования все операции выполняются по команде только одного человека.

Подъем или спуск оборудования нужно тщательно подготовить и начать с таким расчетом, чтобы он был завершен в течение одного дня. Если продолжительность работ такова, что приходится применять искусственное освещение, необходимо, чтобы оно было достаточным и равномерным по всей монтажной площадке и не слепило работающих.

Подъем и спуск грузов запрещаются при скорости ветра более 11 м/с, при гололедице. При подъеме нельзя переключать скорость тракторных лебедок и заглушать двигатели. Рывки и толчки при неквалифицированном управлении тракторами могут привести к перегрузкам, не предусмотренным проектом.

При подготовке к проведению ремонтных работ составляют график и план, в котором предусматриваются необходимые мероприятия по технике безопасности. В процессе подготовки оборудования к ремонту, т.е. в ходе разборки аппаратуры и коммуникаций, при наличии в них огнеопасных веществ имеется опасность пожаров и взрывов. В этом случае необходимо следить за безотказной работой общеобменных и местных вентиляционных систем. Запрещается проведение сварочных и других работ в период разборки технологического оборудования, когда возможно выделение горючих и взрывоопасных газов и паров.

1.3. ДЕКЛАРИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Содержание и порядок разработки декларации промышленной безопасности (нормативного документа) определяет ст. 14 Федерального закона № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Разработка декларации промышленной безопасности предполагает:

- всестороннюю оценку риска аварии и связанной с ней угрозы;
- анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасного производственного объекта в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на опасном производственном объекте;
- разработку мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на опасном производственном объекте.

Перечень сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, и порядок ее оформления определяются федеральным органом исполнительной власти, специально уполномоченным в области промышленной безопасности.

В настоящее время органом, контролирующим работу предприятий по составлению деклараций промышленной безопасности, является Ростехнадзор.

Федеральным законом № 116 устанавливается обязательность разработки деклараций промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются вещества в количествах, указанных в Приложении 2 к настоящему Федеральному закону.

Декларация промышленной безопасности разрабатывается в составе проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию опасного производственного объекта. Она уточняется или разрабатывается вновь в случае обращения за лицензией на эксплуатацию опасного произ-

водственного объекта, изменения сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, или в случае изменения требований промышленной безопасности.

Декларация промышленной безопасности утверждается руководителем организации, эксплуатирующей опасный производственный объект. Он несет ответственность за полноту и достоверность сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Декларация промышленной безопасности проходит экспертизу промышленной безопасности в установленном порядке.

Декларацию промышленной безопасности представляют органам государственной власти, органам местного самоуправления, общественным объединениям и гражданам в порядке, который установлен Правительством Российской Федерации.

Положение о порядке оформления декларации безопасности и перечне сведений, содержащихся в ней (далее – Положение), утверждено Постановлением Госгортехнадзора России.

Наиболее значимыми с позиции промышленной безопасности в декларации являются следующие структурные элементы:

- раздел 1 «Общие сведения»;
- раздел 2 «Результаты анализа безопасности»;
- раздел 3 «Обеспечение требований промышленной безопасности»;
- раздел 4 «Выводы»;
- раздел 5 «Ситуационный план».

Раздел 1 должен содержать следующие сведения: 1) реквизиты организации; 2) обоснование декларации; 3) сведения о месторасположении объекта; 4) сведения о персонале; 5) страховые сведения (для деклараций действующих объектов).

В разделе 2 приводятся сведения об опасных веществах, обращающихся на декларируемом объекте, сведения о технологии и основные результаты анализа риска. Последние включают результаты анализа условий возникновения и развития аварий, результаты оценки риска аварий.

Результаты анализа условий возникновения и развития аварий должны включать перечень факторов и основных возможных причин, способствующих возникновению и развитию аварий, краткое описание сценариев наиболее крупных и наиболее вероятных аварий.

Результаты оценки риска аварий должны включать:

- 1) перечень моделей и методов расчета, применяемых при оценке риска;
- 2) данные о количестве опасных веществ, участвующих в аварии;
- 3) данные о размерах вероятных зон действия поражающих факторов;
- 4) данные о возможном числе пострадавших;
- 5) данные о возможном ущербе;
- 6) данные о вероятности причинения вреда персоналу, населению и ущерба имуществу и окружающей среде.

Раздел 3 должен содержать сведения об обеспечении требований промышленной безопасности к эксплуатации декларируемого объекта и к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий.

В разделе 4 должны содержаться:

- 1) обобщенная оценка условий безопасности с указанием наиболее опасных составляющих декларируемого объекта и наиболее значимых факторов, влияющих на показатели риска;
- 2) перечень планируемых мер, направленных на уменьшение риска аварий.

Раздел 5 должен включать графическое отображение максимальных зон возможного поражения для наиболее опасного по своим последствиям и для наиболее вероятного (типичного) сценариев аварии на декларируемом объекте.

В Положении приведены требования к оформлению декларации промышленной безопасности и приложений к ней, а также дополнительные требования по оформлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, аварии на котором создают угрозу возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

2.1. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аппараты, содержащие взрывоопасные, пожароопасные и вредные вещества, должны быть герметичны по отношению к внешней среде. 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 высокоопасные;
- 3-й класс – вещества умеренно опасные;
- 4-й класс – вещества малоопасные.

2.1.1. Уплотнение валов аппаратов

Для обеспечения требуемой герметичности аппаратов в местах выхода валов наиболее широкое применение нашли торцовые и сальниковые уплотнения.

Торцовые уплотнения (рис. 2.1) позволяют практически полностью предотвратить утечки рабочей среды из аппарата или попадание воздуха внутрь аппарата. Для уплотнения валов вертикальных аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и вредные среды, наибольшее применение нашли торцовые уплотнения типа Т4 (ТДП) – двойные с подшипниковой опорой уплотняемого вала. Не рекомендуется применять уплотнения типа Т2 (ТСК) – одинарные с металлическим сильфоном для аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и вредные среды при избыточном давлении. Уплотнения типа Т1 (ТТ) – двойные с металлическим сильфоном применяют в аппаратах, где требуется стерильность технологического процесса, например в биохимическом производстве.

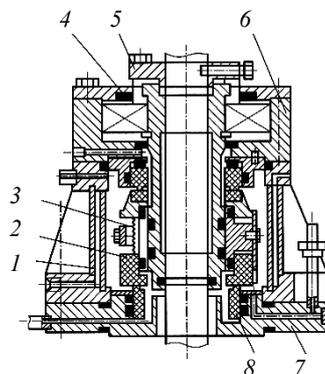


Рис. 2.1. Схема торцового уплотнения

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.

При установившемся режиме работы торцового уплотнения допускаются следующие утечки жидкости через детали, составляющие пару трения со стороны большего давления:

Диаметр вала, мм	40	50	65	80	95	110	130
Утечки, см ³ /ч	4	5	6,5	8	9,5	11	13

При неподвижном вале утечки жидкости, а также газовой среды в виде пузырьков не допускаются.

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: Т3 (ТД) – двойное; Т5 (ТДФ) – двойное с фторопластовым сильфоном; Т6 (ТДПФ) – двойное с фторопластовым сильфоном, с подшипниковой опорой уплотняемого вала, с корпусом, являющимся частью стойки привода вала; Т7 (ТДПФ-01) – двойное с фторопластовым сильфоном, с подшипниковой опорой уплотняемого вала; Т8 (ТДМ) – двойное без сильфона, с подшипниковой опорой уплотняемого вала; Т9 (ТДПН) – двойное с подшипниковой опорой уплотняемого вала, с нижним приводом.

Схему обвязки с естественной циркуляцией запирающей жидкости (рис. 2.2) рекомендуется применять при работе уплотнения в следующих условиях: частота вращения вала до 5 с⁻¹; температура рабочей среды в аппарате от –30 до +150 °С. 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 пневмо-гидроаккумулятор следует устанавливать в непосредственной близости от уплотнения на высоте не менее 2 м.

Схему обвязки с принудительной циркуляцией уплотняющей жидкости (рис. 2.3) рекомендуется применять при диаметре уплотняемого вала более 80 мм, частоте вращения не менее 5 с⁻¹ и температуре рабочей среды в аппарате до 150

°С. 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.

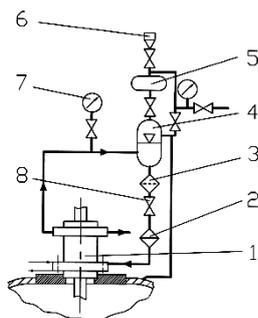


Рис. 2.2. Схема обвязки торцового уплотнения с естественной циркуляцией запирающей жидкости:
 1 – камера торцового уплотнения; 2 – теплообменник; 3 – фильтр;
 4 – пневмогидроаккумулятор; 5 – бак; 6 – воронка; 7 – манометр;
 8 – запорная арматура

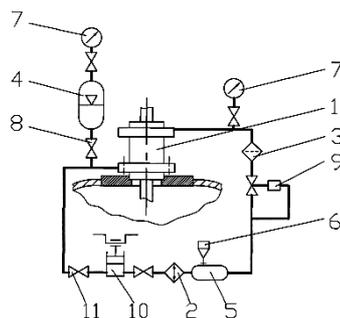


Рис. 2.3. Схема обвязки торцового уплотнения с принудительной циркуляцией уплотняющей жидкости:
 1 – камера торцового уплотнения; 2 – теплообменник; 3 – фильтр;
 4 – пневмогидроаккумулятор; 5 – бак; 6 – воронка; 7 – манометр;
 8 – запорная арматура; 9 – регулирующий клапан; 10 – насос;
 11 – обратный клапан

В целях повышения надежности работы торцовых уплотнений при температуре среды в аппарате более 150 °С следует устанавливать дополнительное охлаждающее устройство (рис. 2.4).

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.

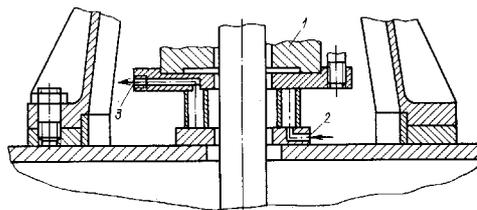


Рис. 2.4. Охлаждающее устройство торцового уплотнения:
 1 – корпус торцового уплотнения; 2 – вход охлаждающей жидкости;
 3 – выход охлаждающей жидкости

Максимальное давление в камере уплотнения при отсутствии давления в аппарате не должно превышать следующих значений: 0,45 МПа – для уплотнений типов Т3 (с давлением 0,6 МПа), Т5 и Т6; 0,85 МПа – для уплотнений типов Т3 (с давлением 3,2 МПа) и Т4.

В уплотнениях типов Т1 и Т2, а также при остаточном давлении в аппарате запирающая жидкость должна подаваться в камеру уплотнения при атмосферном давлении.

Направление вращения вала не влияет на работоспособность торцовых уплотнений, за исключением уплотнений типа Т1, для которых направление вращения вала следует принимать по часовой стрелке (со стороны привода).

Сальниковые уплотнения (рис. 2.5) 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.

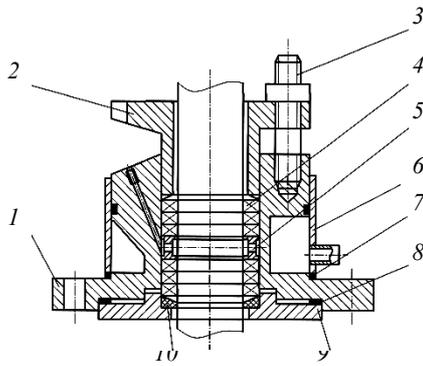


Рис. 2.5. Сальниковое уплотнение:

1 – корпус; 2 – нажимная втулка; 3 – шпилька с гайкой; 4 – набивка, 5 – фонарь;
6 – рубашка; 7, 8 – прокладки; 9 – опорное кольцо; 10 – кольцо

2.1.2. Уплотнение байонетных затворов

В настоящее время наиболее широкое распространение получили байонетные затворы с цельным байонетным кольцом, с разъемным байонетным кольцом, а также двусторонние байонетные затворы и затворы с поворотной крышкой. Конструкция байонетного уплотнения с цельным байонетным кольцом приведена на рис. 2.6. Применение байонетных затворов позволяет резко сократить время, необходимое для загрузки и выгрузки из аппаратов перерабатываемых веществ и материалов. Работоспособность байонетных затворов в значительной степени зависит от надежности уплотняющих устройств.

В качестве уплотняющих устройств для байонетных затворов рекомендуется применять резиновые уплотнители, показанные на рис. 2.7. Однако резиновые уплотнители в нормальных условиях работы могут применяться только до температуры 140 °С. В случае необходимости использования байонетных затворов при температурах до 250 °С следует предусматривать защиту резиновых уплотнителей от действия высоких температур. С этой целью применяют охлаждение пазов под резиновые уплотнители, расположенные во фланцах корпуса и крышки аппарата (рис. 2.8).

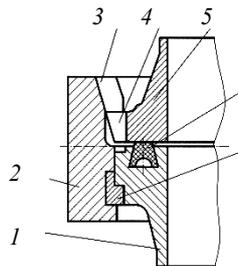


Рис. 2.6. Байонетное уплотнение с цельным байонетным кольцом:

1 – фланец корпуса; 2 – байонетное кольцо; 3 – впадины байонетного кольца;
4 – выступы на фланце байонетной крышки; 5 – фланец байонетной крышки;
6 – резиновый уплотнитель; 7 – промежуточное разрезное кольцо

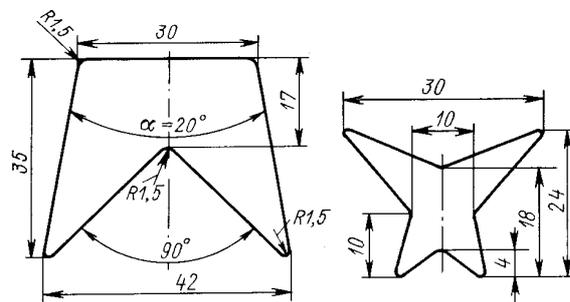


Рис. 2.7. Уплотнители для байонетных затворов

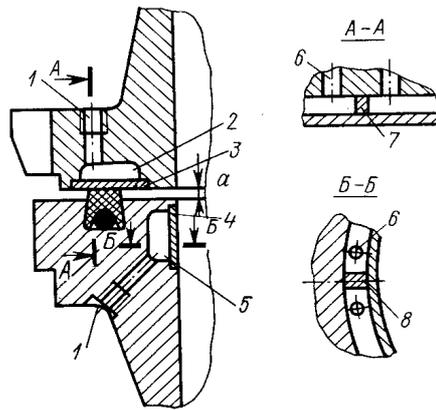


Рис. 2.8. Схема системы охлаждения байонетного затвора:

1 – отверстие для подвода охлаждающей жидкости; 2, 5 – охлаждающие каналы;
3, 4 – кольца, закрывающие охлаждающие каналы; 6 – отверстие для отвода
охлаждающей жидкости; 7, 8 – перегородки

Для обеспечения надежной герметичности байонетного затвора под резиновым уплотнителем должно поддерживаться избыточное давление.

При использовании в аппаратах в качестве рабочей среды воды, воздуха, масла, водяного пара и инертных газов герметичность затвора в начальный период пуска обеспечивается подачей давления под уплотнитель от автономного источника, а при достижении в аппарате избыточного давления 0,2...0,3 МПа уплотняющее устройство соединяется с внутренним пространством аппарата (рис. 2.9).

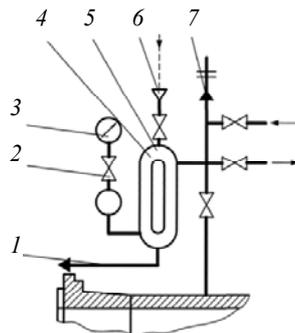


Рис. 2.9. Схема устройства для создания давления под уплотнителем с промежуточным резервуаром:

1 – трубопровод, соединяющий резервуар с уплотнением затвора;
2 – контрольный кран; 3 – манометр; 4 – смотровое стекло; 5 – резервуар;
6 – воронка или заменяющий ее трубопровод; 7 – предохранительный клапан

В аппаратах, работающих с агрессивными, вредными, взрыво- и пожароопасными средами, соединение внутренней полости аппарата с уплотняющим устройством недопустимо. В этом случае давление под уплотнителем создается от автономного пневматического или гидравлического источника, оно должно превышать рабочее давление в аппарате на 0,05...0,1 МПа.

2.2. ЗАЩИТНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ АППАРАТОВ

Ограждениями называются устройства, ограничивающие доступ персонала в опасные зоны, образуемые движущимися частями аппаратов, частями, находящимися под повышенным напряжением электрического тока, и другими видами опасности. Ограждения могут быть постоянно закрепленными или периодически открывающимися. Ограждения не должны затруднять обслуживание аппаратов или ограничивать их технические возможности.

Предпочтительно применять сплошные ограждения, выполненные в соответствии с ГОСТ 12.2.009–80, из листовой стали толщиной не менее 0,8 мм, листового алюминия толщиной не менее 2 мм или прочной пластмассы толщиной не менее 4 мм. В защитных ограждениях допускается устройство смотровых окон из стекол по ГОСТ 5727–83 и ГОСТ 9424–79 или другого прозрачного материала, не уступающего по эксплуатационным свойствам указанным выше материалам.

Защитные ограждения, изготовляемые из сетки или перфорированного материала, должны иметь конструкцию, обеспечивающую жесткость и постоянство формы. Расстояния между ограждением из сетки или перфорированного материала и ограждаемым элементом устанавливает ГОСТ 12.2.062–81.

Прочность ограждений должна определяться из расчета воздействия на них разрушившихся частей аппарата или выброса жидких продуктов. Следует учитывать возможность воздействия на ограждения обслуживающего персонала.

3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Аппараты антистатические – аппараты, в которых поверхности, имеющие контакт с перерабатываемыми веществами, изготовлены из материалов с удельным объемным электрическим сопротивлением не более $10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Аппараты диэлектрические – аппараты, в которых поверхности, имеющие контакт с перерабатываемыми веществами, изготовлены из материалов с удельным объемным электрическим сопротивлением более $10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Аппараты электропроводные – аппараты, поверхности которых имеют контакт с перерабатываемыми веществами и изготовлены из материалов с удельным объемным электрическим сопротивлением не более $10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Заземлитель – проводник или совокупность металлических соединенных проводников, находящихся в соприкосновении с землей или ее эквивалентом.

Заземлитель естественный – заземлитель, в качестве которого используют электропроводящие части строительных и производственных конструкций.

Заземляющее устройство – совокупность конструктивно объединенных заземляющих проводников и заземлителя.

Заземляющий проводник – проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических не-токоведущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

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

3.2. ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В зависимости от условий эксплуатации электрооборудование, устанавливаемое на аппаратах химических и нефтехимических производств, может иметь взрывозащищенное или общепромышленное исполнение.

Электрооборудование общепромышленного исполнения может иметь различные степени защиты от соприкосновения персонала с вращающимися частями, от попадания внутрь электрооборудования твердых частиц и воды: JP00, JP01, JP10, JP11, JP12, JP13, JP20, JP21, JP22, JP23, JP43, JP44, JP54, JP55, JP56. Буква J и первая цифра после буквы P обозначают степень защиты от соприкосновения и попадания посторонних предметов, буква P и вторая цифра – степень защиты от проникновения воды в электродвигатель. Расшифровка степеней защиты приведена в ГОСТ 14254–80.

Электродвигатели и другое электрооборудование, предназначенное для комплектации аппаратов, размещенных на открытых производственных площадках, должны иметь исполнение не ниже JP44 или специальное, соответствующее условиям их работы (например, для особо низких температур).

В обозначении степеней защиты могут дополнительно использоваться буквы S, M, W, имеющие следующие значения: S – испытано на проникновение воды при неработающем изделии; M – испытано на проникновение воды при работающем изделии; W – изделие имеет дополнительные средства защиты для работы в особых климатических условиях. Если электрооборудование имеет только одну степень защиты, то пропущенная цифра может заменяться буквой X, например: JP2X, JPX2.

Аппараты, не требующие регулирования частоты вращения внутренних устройств, должны комплектоваться синхронными и асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Электродвигатели постоянного тока могут применяться только в тех случаях, когда электродвигатели переменного тока не обеспечивают требуемых характеристик или неэкономичны.

При установке электродвигателей должны выдерживаться следующие расстояния:

а) между необслуживаемыми сторонами электродвигателей, а также между электродвигателем и стеной или колонной здания – не менее 0,3 м при высоте его расположения до 1 м от уровня пола и не менее 0,6 м при высоте расположения электродвигателя более 1 м;

б) при наличии прохода между электродвигателями, а также между электродвигателем и стеной здания – не менее 1 м.

Допускаются местные сужения проходов между выступающими частями электродвигателей и строительными конструкциями до 0,6 м на длине не более 0,5 м.

Установка на аппаратах электродвигателей и другого электрооборудования должна обеспечивать возможность их периодического осмотра и ремонта.

3.3. ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Заземление является наиболее распространенным средством защиты персонала от поражения электрическим током при повреждении изоляции электрооборудования, установленного на аппаратах.

Заземлению подлежат корпуса аппаратов, электрооборудование и металлические части, доступные для прикосновения человека и не имеющие других видов защиты, обеспечивающих электробезопасность.

Во взрывоопасных зонах любого класса заземлению подлежат аппараты с установленным на них электрооборудованием, работающим при всех напряжениях переменного и постоянного тока, в том числе аппараты, установленные на заземленных металлических конструкциях, которые в невзрывоопасных зонах допускается не заземлять. Это требование не распространяется на электрооборудование, установленное внутри заземленных корпусов шкафов и пультов.

В невзрывоопасных зонах защитное заземление следует выполнять:

1) при переменном токе с номинальным напряжением 380 В и выше и при постоянном токе с напряжением 440 В и выше – во всех случаях;

2) при переменном токе с номинальным напряжением от 42 до 380 В и при постоянном токе с напряжением от 110 до 440 В – при работах в условиях повышенной опасности и особоопасных условиях.

К условиям повышенной опасности поражения людей электрическим током относятся:

а) влажность (пары или конденсирующаяся влага выделяются в виде мелких капель, и относительная влажность воздуха превышает 75 %);

б) присутствие проводящей пыли (технологическая или другая пыль, оседающая на проводах, проникая внутрь машин и аппаратов и отлагаясь на электроустановках, ухудшает условия охлаждения и изоляции, но не вызывает опасности пожара или взрыва);

в) наличие токопроводящих оснований (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных);

г) повышенная температура (независимо от времени года и различных тепловых излучений температура длительное время превышает 35 °С, кратковременно – 40 °С);

д) возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

К особоопасным условиям поражения людей электрическим током относятся:

а) сырость (дождь, снег, частое опрыскивание и покрытие влагой внутренних поверхностей помещения);

б) присутствие химически активной среды (постоянно или длительное время в воздухе содержатся агрессивные пары, газы, жидкость, образующие отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию или токоведущие части электрооборудования);

в) наличие одновременно двух или более условий повышенной опасности.

Защитное заземление допускается не выполнять на аппаратах: предназначенных для установки в недоступных, без применения специальных средств, местах (в том числе внутри других изделий); предназначенных для установки только на заземленных металлических конструкциях, если при этом обеспечивается стабильный электрический контакт соприкасающихся поверхностей; заземление которых не допускается принципом действия или назначением.

Заземляющие проводники должны крепиться к аппаратам при помощи резьбовых соединений или сварки. Соприкосновение между элементом заземления (шпилькой, болтом) и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью аппарата, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом. Заземляющие элементы со шпилькой или болтом устанавливаются на сварных аппаратах при помощи специальных бобышек, а на литых аппаратах – на приливах.

Шпильки, болты и гайки для элементов заземления должны изготавливаться из стали или латуни. Между заземляющим проводником и шпилькой (болтом) следует устанавливать контргайку и пружинные шайбы. Вокруг шпильки (болта) должна предусматриваться неокрашенная контактная площадка для присоединения заземляющего проводника. Размеры шпилек (болтов) и контактных площадок выбирают в зависимости от силы тока. Использование для присоединения заземляющих проводников шпилек и болтов, служащих для соединения между собой частей аппаратов и трубопроводов, недопустимо.

Способы присоединения заземляющих проводников к аппаратам с теплоизоляцией, защищенной металлическим кожухом, показаны на рис. 3.1.

В качестве заземляющих проводников могут применяться изолированные и неизолированные провода, полосовой прокат и другие токопроводящие материалы. При необходимости заземления подвижных частей аппаратов следует применять гибкие проводники или скользящие контакты.

Рядом с заземляющим элементом должен быть помещен знак заземления. Этот знак допускается выполнять методом штамповки на пластине, прикрепляемой к аппарату, или методами литья в металле по ГОСТ 21130–75*.

Расчет защитного заземления выполняют на стадии проектирования технологической установки в целом. Цель этого расчета – определить число, размеры и место размещения одиночных заземлителей и заземляющих проводов, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземленный корпус аппарата не превышают безопасных значений. Порядок расчета защитного заземления приведен в специальной литературе.

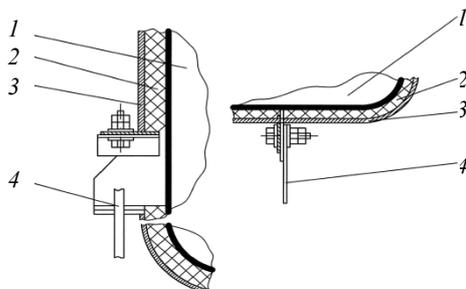


Рис. 3.1. Способы присоединения заземляющих проводников к аппаратам с теплоизоляцией, защищенной металлическим кожухом:

1 – корпус аппарата; 2 – теплоизоляция; 3 – металлический кожух; 4 – заземляющий проводник

3.4. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Заряды статического электричества могут возникать при перемешивании, фильтрации, сливе, разбрызгивании, кристаллизации и испарении жидкостей, при деформации или дроблении твердых тел, а также при относительном перемещении двух находящихся в контакте твердых тел. Способность веществ и материалов образовывать заряды статического электричества зависит в основном от их удельного электрического сопротивления ρ_v .

Вещества и материалы, имеющие $\rho_v \ll 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, при отсутствии их разбрызгивания или распыления не электризуются, и, следовательно, применять меры защиты от статического электричества при работе с такими веществами и материалами не требуется.

При обработке легковоспламеняющихся и горючих жидкостей необходимо учитывать степень электролизации их поверхности. Предельно допустимым считается такое значение поверхностной плотности заряда, напряженности поля или потенциала, при котором максимально возможная энергия разряда с поверхности данного вещества не превосходит $1/4$ значения минимальной энергии воспламенения окружающей среды ρ_v .

Мероприятия по защите от статического электричества должны осуществляться только в пределах взрыво- и пожароопасных зон, установленных классификацией Правил устройства электроустановок (ПУЭ). В остальных производствах защита должна предусматриваться только в случаях отрицательного влияния статического электричества на производственный процесс.

Основным способом защиты аппаратов от опасных потенциалов статического электричества является *заземление*. В обоснованных случаях дополнительно к заземлению можно применять другие меры защиты (уменьшение объемного или поверхностного сопротивления, нейтрализацию зарядов).

Заземляющие устройства для защиты от статического электричества следует, как правило, объединять с заземляющими устройствами для электрооборудования и выполнять в соответствии с требованиями ПУЭ. Сопротивление заземляющего устройства, предназначенного исключительно для защиты от статического электричества, допускается до 100 Ом.

Неметаллические аппараты считаются электростатически заземленными, если сопротивление любой точки их внутренней и внешней поверхностей относительно контура заземления не превышает $10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Металлические и электропроводные неметаллические аппараты и трубопроводы, расположенные в производственных помещениях и на наружных установках, должны быть объединены в непрерывную электрическую цепь, которая должна присоединяться к контуру заземления не менее чем в двух точках. Присоединять к контуру заземления при помощи отдельного ответвления, независимо от заземления соединенных с ними коммуникаций, следует аппараты, в которых происходит дробление, распыление, разбрызгивание продуктов, эмалированные и футерованные аппараты, а также аппараты, не соединенные трубопроводами с общей системой заземления аппаратов и трубопроводов.

Если заземление аппаратов не предотвращает накопление опасных потенциалов статического электричества, то в качестве дополнительной меры следует применять *способ рассеяния зарядов* путем уменьшения удельного объемного и поверхностного электрического сопротивления. С этой целью увлажняют воздух в рабочей зоне производственного помещения, а также обрабатывают изделия растворами поверхностно-активных веществ или вводят поверхностно-активные вещества при вальцевании, экструзии и смешении.

Способ нейтрализации зарядов рекомендуется применять в случаях, когда нельзя отвести заряды статического электричества с помощью более простых средств, описанных выше. Для нейтрализации зарядов статического электричества во взрывоопасных зонах всех классов рекомендуется применять радиоизотопные нейтрализаторы.

Для нейтрализации зарядов статического электричества на открытых поверхностях (пленки, ленты, ткани, листы) используют нейтрализаторы на основе плутония-239 или трития. При этом расстояние от нейтрализатора до заряженной поверхности не должно превышать в первом случае 50 мм, во втором – 25 мм.

В местах, где установка нейтрализаторов затруднена, следует применять вдувание ионизированного воздуха. В случае применения этого способа во взрывоопасных зонах ионизаторы должны быть во взрывозащищенном исполнении или располагаться в соседних зонах, не являющихся взрывоопасными.

Для предотвращения накопления опасных потенциалов статического электричества движение жидкостей по трубопроводам и их истечение в аппараты ограничивают следующими скоростями:

- 10 м/с и менее – для жидкостей с удельным объемным электрическим сопротивлением не более $10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- 5 м/с и менее – для жидкостей с удельным объемным электрическим сопротивлением не более $10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- 1,2 м/с – для жидкостей с удельным объемным электрическим сопротивлением более $10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при диаметрах трубопроводов до 200 мм;
- 1 м/с – в начале заполнения порожнего аппарата жидкостями, имеющими удельное объемное электрическое сопротивление более $10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, до момента затопления конца загрузочной трубы.

Снижение скорости истечения жидкости может быть достигнуто применением релаксационных емкостей, которые представляют собой горизонтальный участок трубопровода увеличенного диаметра, находящегося непосредственно у входа в аппарат.

Диаметр релаксационной емкости D вычисляют по формуле:

$$D = \sqrt{2d_{\text{тр}}^2 \omega_{\text{ж}}},$$

где $d_{\text{тр}}$ – диаметр трубопровода до релаксационной емкости, м; $\omega_{\text{ж}}$ – скорость жидкости в трубопроводе, м/с.

Длина релаксационной емкости:

$$L = 2,2 \cdot 10^{-11} \varepsilon \rho_v,$$

где ε – диэлектрическая постоянная жидкости; ρ_v – удельное объемное электрическое сопротивление жидкости, Ом · м.

Жидкость в аппарат должна, как правило, подаваться ниже уровня находящихся в этих аппаратах жидкостей.

Не допускается подача жидкостей в аппараты свободно падающей струей. Расстояние от конца загрузочной трубы до днища аппарата не должно превышать 200 мм.

Допускается направлять струю жидкости вдоль стенки аппарата, при этом форма конца трубы и скорость подачи жидкости должны быть выбраны так, чтобы исключить ее разбрызгивание.

Возникновение опасных искровых разрядов при движении горючих паров и газов в аппаратах и трубопроводах предотвращается путем заземления всех металлических частей, находящихся в газовом потоке, и исключением возможности присутствия в этих потоках твердых и жидких частиц. Не рекомендуется отводить заряды из газового потока путем введения в него заземленных металлических сеток, пластин, рассекателей, коаксиальных стержней и других аналогичных устройств.

В футерованных аппаратах заземлению подлежат металлические корпуса, детали, арматура и другие электропроводные поверхности. Исключение составляют аппараты с антистатической футеровкой, в которых перерабатываются жидкости с удельным объемным электрическим сопротивлением не более 10^9 Ом · м, перемещаемые со скоростью до 2 м/с. В таких аппаратах заземляют только их металлические корпуса. В антистатических и диэлектрических неметаллических аппаратах не допускается наличие металлических частей и деталей, имеющих сопротивление относительно земли более 100 Ом.

Для обеспечения электропроводности неметаллические антистатические и диэлектрические аппараты должны покрываться снаружи и внутри слоем лака или эмали, обладающих электропроводными свойствами. При этом должен быть обеспечен надежный контакт покрытия с заземленной металлической арматурой.

Введение в неметаллические антистатические и диэлектрические аппараты дополнительных заземленных электродов допускается:

а) при невозможности покрытия наружных и внутренних поверхностей аппаратов электропроводным лаком или эмалью;

б) при обработке веществ, способных накапливать заряды при контактном или индуктивном воздействии на электризованной поверхности аппаратов и имеющих удельное объемное электрическое сопротивление не более 10^5 Ом · м.

Вводимые в аппарат электроды не должны выступать над поверхностью жидкости или нарушать герметичность аппарата.

В аппаратах должны заземляться все вращающиеся и движущиеся части, контакт которых с заземленным корпусом может быть нарушен из-за наличия слоя смазки в подшипниках или применения диэлектрических антифрикционных материалов. Обеспечение контакта в электропроводных подшипниках достигается применением электропроводной смазки.

Передача движения от электродвигателей к аппаратам должна осуществляться через муфту, редуктор или, в виде исключения, через клиноремненное устройство. Применение плоскоремненных передач не допускается. Клиноремненные передачи должны выполняться из материалов, имеющих удельное объемное электрическое сопротивление не более 10^5 Ом · м, а вся установка (ограждение и другие металлические детали вблизи ремня) должна заземляться. В частности, находят применение антистатические клиновые ремни по ТУ 38-105-275–71. В случае использования обычных клиновых ремней следует применять один из следующих способов предотвращения опасной электризации:

1) увеличение относительной влажности воздуха в месте расположения клиноремненной передачи не менее чем до 70 %;

2) покрытие ремней электропроводной смазкой;

3) ионизацию воздуха с помощью установленных с внутренней стороны ремня (возможно ближе к точке его схода со шкива) нейтрализаторов.

Запрещается смазывать ремни канифолью, воском и другими веществами, увеличивающими поверхностное сопротивление, во взрывоопасных помещениях всех классов.

4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

При разработке и применении средств взрывозащиты необходимо учитывать, что взрыв, как и пожар, является событием случайным, т.е. оба они могут произойти или не произойти. Возникновение этих событий обусловлено рядом причин, вероятность которых пока еще не поддается надежному расчету. Поэтому предотвращение взрыва или пожара не должно зависеть от мероприятия, направленного только, например, на защиту. Необходим целый комплекс мероприятий, обеспечивающих безопасность людей и разрабатываемых с учетом технико-экономических показателей процесса. В этот комплекс должен входить ряд вариантов защиты, связанных с исключением из процесса горючей (взрывоопасной) системы или возможных источников зажигания, а также с использованием способов ограничения и подавления взрывов. Следует учитывать, что мероприятия по защите от взрывов осуществляются тем лучше, чем меньше объем оборудования.

4.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ОПАСНОСТИ ВЗРЫВА

Распространенным способом снижения вероятности взрыва является *установление «безопасного» технологического регламента*, когда даже при резких возмущениях процесса его «опасные» параметры (давление, температура и т.д.) не могут приблизиться к границе устойчивости. При этом процесс ведется экстенсивно и скрытые в нем возможности повышения эффективности производства не используются. Снижение скорости протекания процесса достигается уменьшением скорости подачи исходных компонентов, варьированием температурного режима и применением специальных разбавителей.

Осуществление технологического процесса в среде инертного разбавителя (N_2 , CO_2 и др.) позволяет снизить вероятность взрыва смеси, однако добавки инертного компонента (70...110 % об. от горючей смеси и более) затрудняют отделение от них конечного продукта, требуют использования дополнительного технологического оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры, что снижает экономическую эффективность производства. Поэтому такой способ взрывозащиты применяют в том случае, когда необходимо обеспечить резкое сокращение концентрации окислителя или когда возможна локальная флегматизация (введение флегматизаторов – добавок, при которых смесь становится негорючей) определенной зоны протяженного аппарата. Инертные разбавители целесообразно использовать также на некоторых стадиях технологического процесса.

Значительное сужение концентрационных пределов воспламенения и подавление взрывов достигаются при комбинированном действии химических ингибиторов (фтор-, бромсодержащих углеводородов) с диоксидом углерода, азотом, диэтиламино. Предотвратить взрыв можно регулированием и поддержанием такого состава смеси, при котором содержание горючего компонента находится вне концентрационных пределов воспламенения.

Технологическим способом снижения опасности является также перевод периодического или полунепрерывного технологического процесса в непрерывный. Вследствие уменьшения объема реактора непрерывного действия по сравнению с объемом реактора периодического действия при той же производительности снижается общий объем реакционной массы, находящейся в цехе. Тем самым облегчаются возможные последствия аварии, однако вероятность возникновения самой аварии и взрыва не уменьшается. Технологические параметры (давление, температура и т.п.) при непрерывном процессе должны поддерживаться постоянными, что существенно облегчает автоматизацию технологического процесса и снижает его опасность.

Все технологические способы обеспечивают снижение опасности аварии, но не ее устранение. Полная гарантия безопасности процесса достигается применением высоконадежной системы автоматической защиты.

Для химических производств, связанных с применением мелкодисперсных материалов (пыли), одной из задач является снижение летучести пыли. Для этого пыль увлажняют (если это допускается технологией) в местах ее образования или в местах, где возможно увеличение содержания пыли в воздухе. Увлажнение проводят до такого состояния пыли, при котором не образуется аэрозоль. Только в этом случае указанный способ является эффективным. Замена пылесборников скрубберами с увлажнением помогает решить эту задачу. Для улучшения смачивания к воде добавляют поверхностно активные вещества (ПАВ).

Достаточно эффективными мерами, обеспечивающими безопасность процесса, являются: своевременное удаление скоплений пыли; обеспечение надежной герметизации соответствующего оборудования; применение вакуумного транспортирования пылевидных материалов, снижающего содержание кислорода в горючей смеси, взамен транспортирования под давлением воздуха.

Для уменьшения опасности взрыва очень часто оборудование для опасных операций или выносят на открытый воздух, или размещают в небольших обособленных зданиях, или сосредоточивают в разгружаемых частях здания (имеющих легко сбрасываемые крыши, оконные блоки и т.д.) согласно СНиП. Это оборудование отделяют от другого оборудования стеной, выдерживающей давление взрыва.

Одним из важных мероприятий по предотвращению действия давления взрыва в системе является сброс давления через вышибаемые проемы, к которым относятся остекленные части здания, двери, распашные ворота, стены из облегченных панелей, легко сбрасываемые крыши (давлением не более $1,2 \text{ кН/м}^2$).

4.2. ОГРАНИЧЕНИЕ И ПОДАВЛЕНИЕ ВЗРЫВОВ

Механизм ограничения и подавления взрывов, как и в случаях тушения пожаров, основан на охлаждении, инертнизации (введении в газовую среду инертных веществ) и ингибировании горения. Устройство, служащее для подавления взрыва, включает в себя три основных элемента:

- 1) чувствительный датчик, реагирующий на определенный параметр взрыва (давление, температуру, тепловую радиацию);
- 2) исполнительный механизм, который под влиянием начального импульса обеспечивает срабатывание устройства и диспергирование вещества, тушащего пламя, причем скорость срабатывания устройства должна быть больше максимальной скорости нарастания давления взрыва;
- 3) тушащее средство.

Период между моментами воспламенения и достижения разрушающего давления составляет примерно 30...40 мс, поэтому автоматическая блокировка с тушащим средством должна срабатывать в течение более короткого времени.

Широкое применение в химической промышленности нашли автоматические системы взрывозащиты, которые подразделяются на системы предупреждения, локализации и подавления взрывов.

Системы предупреждения аварий и взрывов. Эти системы являются составной частью автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП). АСУТП включает в себя автоматическую систему регулиро-

вания (АСР), автоматическую систему защиты (АСЗ), автоматическую систему контроля (АСК) и автоматическую систему сигнализации (АСС).

В предаварийном состоянии, которое наступает вследствие возмущений, когда АСР не может справиться с возвратом процесса к нормальному режиму или при отказе АСР, процесс управляется АСЗ.

Управляющие (защитные) воздействия АСЗ в зависимости от степени развития аварийной ситуации и цели использования этих систем бывают двух видов: возвращающие процесс в режим нормального функционирования и прекращающие процесс.

Возвращение процесса в режим функционирования включает в себя следующие защитные воздействия:

- подача «жесткого» хладагента; она применяется в случае, когда развитие аварийной ситуации приводит к нарушению температурного режима, а резкое охлаждение не вызывает полного прекращения процесса;
- прекращение подачи одного или нескольких компонентов, когда причиной возникновения аварийной ситуации является нарушение расхода или соотношения исходных компонентов либо когда нарушается температурный режим в сторону увеличения опасности;
- стравливание избыточного давления из аппарата – применяется тогда, когда предаварийное состояние характеризуется повышением давления;
- подключение дополнительного технологического оборудования (например, дополнительной линии отвода газообразных продуктов из аппарата через ловушку).

Защитные воздействия первого вида приводят к временному замедлению процесса.

Прекращение процесса осуществляется следующими защитными воздействиями:

- сброс реакционной массы в специальную емкость, заполненную разбавителем;
- подача в реактор разбавителя, резко затормаживающего процесс и делающего невозможным дальнейшее использование реакционной массы;
- подача «жесткого» хладагента, если последовавшее за этим снижение температуры вызывает такие необратимые реакции, которые приводят к невозможности дальнейшего использования реакционной массы.

АСК служит для получения информации о состоянии объекта и условиях его работы.

АСС предназначена для автоматического оповещения обслуживающего персонала о наступлении различных событий (изменение параметров, характеризующих возникновение аварийной ситуации, и изменение состояния исполнительных органов, осуществляющих защитное воздействие) подачей звуковых или световых сигналов.

Системы локализации взрывов. Системы приводятся в действие при возникновении загорания и угрозе разрушения технологического оборудования и здания от избыточного давления. Принцип действия систем локализации заключается в обнаружении аварийного состояния датчиком-преобразователем, подаче исполнительной команды на срабатывание устройства разгерметизации, инертизации и пожаротушения.

После срабатывания устройства разгерметизации (*предохранительной мембраны*) в образовавшийся защитный проем внутрь аппарата, где происходит горение горючих смесей, подается из разрядных аккумуляторов флегматизирующий инертный разбавитель или через насадки-распылители – огнетушащее вещество для ликвидации или локализации загорания.

Чтобы предотвратить распространение пламени на смежные аппараты, применяют устройства блокирования – *огнепреградители* различных типов и *пламеотсекатели*. По способу устройства огнепреградители могут быть сухими, орошаемыми, с водяным статическим затвором. По виду пламегасящего элемента различают огнепреградители кассетные (рис. 4.1), с насадкой из гранулированных материалов, пластинчатые, сетчатые, металлокерамические или металловолоконистые. Огнепреградители используют также для оборудования «дыхательных», продувочных и сбросных линий аппаратов и емкостей с легко-воспламеняемыми жидкостями (ЛВЖ), газопаровоздушных линий со взрывоопасными концентрациями смеси, коммуникаций с газами, способными к взрывному разложению.

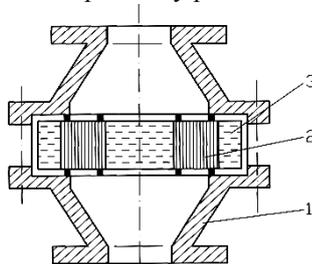


Рис. 4.1. Кассетный огнепреградитель:
1 – корпус; 2 – кассета; 3 – вода для охлаждения

Пламегасящий эффект огнепреградителей определяется в основном диаметром пламегасящих каналов, поскольку длина и материал стенок этих каналов мало влияют на теплоотвод из зоны горения. При уменьшении диаметра пламегасящего канала увеличивается поверхность каналов на единицу массы реагирующей смеси, вследствие этого возрастают потери тепла из зоны горения. При критическом диаметре скорость реакции окисления (горения) резко уменьшается, так что дальнейшее распространение пламени полностью прекращается.

Для локализации пламени в трубопроводах, транспортирующих различные горючие вещества (газы, пыли и т.д.), применяют форсуночные пламепреградители. Принцип их действия заключается в создании огнетушащей зоны впереди

движущегося фронта пламени при помощи специальных устройств, которые обеспечивают высокоскоростную подачу жидкого или газообразного огнегасителя в полость защищаемого трубопровода.

В качестве *пламеотсекателей*, предотвращающих распространение огня по газопроводу, используют изолирующие клапаны, а также гидрозатворы, которые обеспечивают механическое перекрытие рабочего сечения газопровода шиберами или заслонками и одновременную подачу внутрь газопровода огнетушащей жидкости.

Устройства разгерметизации предназначены для обеспечения необходимого по условиям взрывозащиты проходного сечения для сброса избыточного давления, возникающего при взрыве внутри аппарата. При этом давление в аппарате не должно превышать допустимого значения, при котором возможно механическое разрушение аппарата.

Для обеспечения необходимой площади разгерметизирующих разгрузочных отверстий наибольшее применение в химической промышленности нашли предохранительные устройства: клапаны и разрушающиеся мембраны. Однако при этом следует обязательно учитывать, что «разгрузка» давления для каждого технологического процесса носит специфический характер, следовательно, разработка профилактических мероприятий должна проводиться после подробной предварительной оценки взрывопожароопасности процесса. При этом «разгрузка» при помощи противовзрывных устройств должна быть организована таким образом, чтобы избежать выброса пламени в рабочее помещение и повторного взрыва. Для этого рекомендуется противовзрывные устройства снабжать трубами, площадь сечения которых должна быть не меньше площади разгрузочного отверстия, а длина – не более 3 м. Трубы выводят наружу, причем они должны быть, по возможности, прямыми.

Устройства *аварийной разгерметизации* по принципу действия разделяют на неуправляемые и управляемые. Для неуправляемой разгерметизации используют предохранительные клапаны, мембраны и динамически ослабленные (разрушающиеся) втулки, которые открываются или разрушаются для выпуска избыточного газа при превышении давления сверх рабочего. Управляемая разгерметизация основана на автоматическом образовании защитного проема прежде, чем давление в аппарате достигнет опасных значений.

Противовзрывные клапаны должны удовлетворять требованиям в отношении механической прочности и чувствительности их разрушающего устройства, чтобы не противодействовать стравливанию давления взрыва. Для максимального снижения давления взрыва при использовании клапанов и мембран применяют детонаторы, позволяющие открывать крышки разгрузочных отверстий за короткий промежуток времени.

Преимущество противовзрывных клапанов перед мембранами заключается в том, что они позволяют решать две задачи: стравливать давление взрыва и закрывать отверстие для стравливания.

Мембраны по сравнению с предохранительными (противовзрывными) клапанами также имеют ряд существенных преимуществ: предельная простота конструкции и более высокая надежность (это преимущество особенно проявляется при работе в средах, склонных к кристаллизации, полимеризации и т.д., когда предохранительные клапаны могут оказаться вообще неработоспособны); исключительно высокое быстродействие; мембраны до своего срабатывания полностью герметизируют сбросное отверстие, в то время как клапаны всех конструкций имеют весьма существенные утечки в закрытом состоянии, приводящие к значительным потерям ценных продуктов и к загрязнению окружающей среды вредными веществами.

Основным же недостатком мембран является то, что после их срабатывания и сброса необходимого количества среды сбросное (разгрузочное) отверстие остается открытым вплоть до замены сработавшей мембраны. Этот недостаток может быть в значительной мере компенсирован установкой мембран совместно с предохранительными клапанами.

Для снижения давления срабатывания предохранительных мембран рекомендуется на их рабочую поверхность наносить радиальные или окружные риски или сквозные прорезы.

Предохранительные мембраны изготавливают из нержавеющей стали, никеля, титана, меди, алюминия, свинца, латуни, чугуна, пластмасс, графита и т.д.

Системы подавления взрывов. Такие системы применяют для защиты замкнутых технологических аппаратов, заполненных под небольшим избыточным давлением газо-, пыле- и паровоздушными смесями. При высоких давлениях использование таких систем менее эффективно, так как затруднена доставка с большой скоростью огнетушащего состава к очагу горения.

Принцип действия системы заключается в обнаружении взрыва на начальной стадии его развития высокочувствительными датчиками и быстром введении в защищаемый аппарат (емкостью от 1,0 до 50 м³) распыленного огнетушащего вещества (воды, фреона 114В-2), прекращающего дальнейший процесс развития взрыва.

На рис. 4.2 приведена схема автоматической системы подавления взрывов (АСПВ) «Радуга». Она находится в постоянном режиме ожидания и включается автоматически только при воспламенении среды. При возникновении взрыва в аппарате индикатор 5 посылает сигнал в блок управления 6, который подает усиленные командные электрические импульсы на каждое из исполнительных устройств – гидropушку 2, ороситель 3 и пламеотсекатели 1 и 4. Получив сигнал, гидropушка и ороситель подавляют горение в аппарате, а пламеотсекатели предотвращают распространение пламени в смежные аппараты.

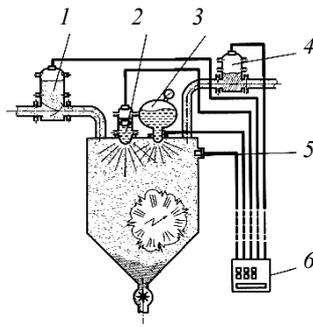


Рис. 4.2. Автоматическая система подавления взрывов «Радуга»:
1, 4 – пламеотсекатели; 2 – гидропушка; 3 – ороситель; 5 – индикатор;
6 – блок управления

5. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА

5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

Предохранительная арматура исключает возможность недопустимо высокого давления в аппарате или трубопроводной системе путем сброса излишнего количества среды.

По кратности использования предохранительные устройства (ПУ) подразделяют на две основные группы:

1) многократно используемые устройства – предохранительные клапаны (ПК) с самодействующим замыкающим элементом (рис. 5.1);

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

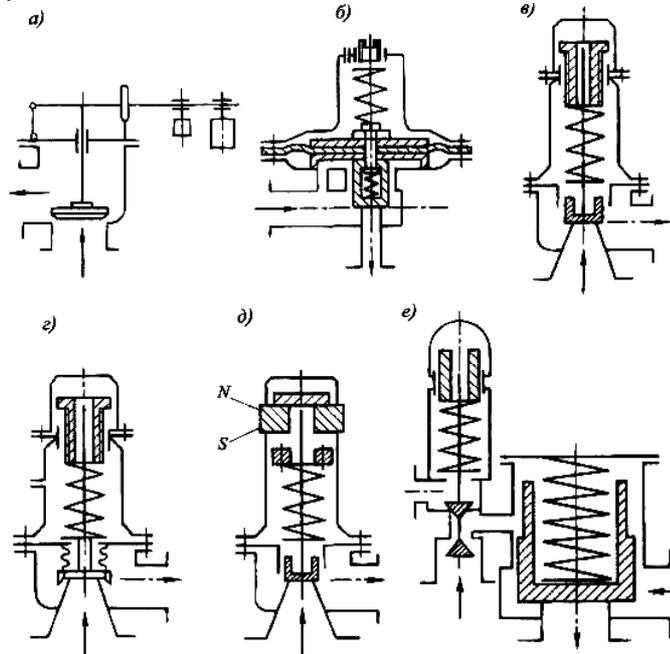


Рис. 5.1. Предохранительные клапаны:

а – д – прямого действия (*а* – рычажно-грузовые; *б* – с подачей среды на золотник

и с чувствительным элементом в виде мембраны; *в* – пропорционального действия; *г* – двухпозиционного действия с загрузочным элементом в виде сильфона; *д* – магнитно-пружинные); *е* – непрямого действия с импульсом от рабочего давления

Предохранительные клапаны. По принципу действия различают следующие ПК:

1) клапаны прямого действия (рис. 5.1, *а – д*), открывающиеся непосредственно под действием давления рабочей среды;

2) клапаны непрямого действия (рис. 5.1, *е*), в которых главный предохранительный клапан открывается с помощью специального привода.

Наиболее широко в промышленности применяют клапаны прямого действия. Их классифицируют по следующим признакам.

По виду нагрузки на золотник:

1) грузовые ПК с прямым нагружением груза на золотник и рычажно-грузовые с нагружением через рычаг (рис. 5.1, *а*);

2) клапаны с газовой камерой, у которых нагрузка создается сжатым газом, находящимся в герметически закрытой камере и действующим через специальную мембрану и шток на золотник клапана; такие ПК весьма чувствительны к колебаниям температуры окружающей среды, вызывающим изменение настройки клапана;

3) рычажно-пружинные клапаны (применяются очень редко);

4) пружинные клапаны с прямым действием пружины на золотник (рис. 5.1, *в, г*); они просты по конструкции, обладают высокой чувствительностью и надежностью в эксплуатации, благодаря чему нашли наиболее широкое распространение во всех отраслях промышленности;

5) магнитно-пружинные ПК (рис. 5.1, *д*), в которых усилие магнита добавляется к усилию пружины при закрытом клапане, чем достигается высокая герметичность в затворе. В таких клапанах открытие происходит быстро, двухпозиционно, закрытие – постепенно, благодаря действию магнита (ход клапана пропорционален снижению давления).

По виду сообщения послезолотниковой полости клапана с атмосферой:

1) открытые, в которых рабочая среда выпускается в атмосферу (такие клапаны работают без статического противодействия);

2) закрытые, не сообщающиеся с атмосферой (такие клапаны выпускают рабочую среду в закрытую систему); в этом случае клапан работает с противодействием, равным статическому давлению в выпускной системе и сопротивлению трубопровода при протекании по нему сбрасываемой среды.

По виду разгрузки послезолотниковой полости:

1) незгруженные ПК, в которых на золотник действует сила от статического и динамического противодействий, последнее возникает в надзолотниковой полости клапана из-за сопротивления отводящей линии. Такие ПК предназначе-

ны для установки в линиях с малым сопротивлением на сбросе при постоянном статическом противодействии, изменение которого не рекомендуется допускать более 10 %;

2) разгруженные ПК (рис. 5.1, *з*), в которых сила от противодействия не воздействует на золотник на площади, равной площади прохода в седле. Они выполняются с разгрузочным элементом в виде сильфона, мембраны или поршня, предназначены работать в системах с большим и переменным противодействием.

По высоте подъема замыкающего элемента:

1) малоподъемные пропорционального действия, в которых подъем золотника $h_{\max} \leq 0,05d_c$ (d_c – диаметр седла клапана). Лимитирующим сечением является щель, образованная между уплотняющими поверхностями золотника и седла. Малоподъемными обычно выполняют рычажно-грузовые, а также пружинные ПК. Установка их допускается при небольших расходах, в основном на жидких средах;

2) среднеподъемные, в которых достигается подъем золотника $h_{\max} = (0,083 \dots 0,1) d_c$. Лимитирующим сечением в них является щель. Среднеподъемные ПК применяют преимущественно для жидкостей;

3) полноподъемные (высокоподъемные) двухпозиционного действия, в которых достигается высота $h_{\max} \geq 0,25d_c$ (рис. 5.1, *з*). Лимитирующим сечением в них является самое узкое сечение в седле клапана с диаметром d_c . Полноподъемные ПК характеризуются быстротой срабатывания на полный ход золотника. Время их открытия 0,008...0,04 с. Полноподъемными выполняют пружинные клапаны и клапаны непрямого действия.

По характеру подъема замыкающего элемента:

1) клапаны пропорционального действия (рис. 5.1, *в*), в которых подъем золотника происходит равномерно, пропорционально повышению давления в системе; применяют их главным образом для жидкостей, а также в системах с непостоянным расходом газа в аварийном режиме;

2) клапаны двухпозиционного действия (рис. 5.1, *з*). В этих клапанах после небольшого повышения давления золотник рывком поднимается на заданную величину практически без изменения давления среды. Такие клапаны применяют в системах с постоянным расходом газа в аварийном режиме.

По направлению воздействия среды на золотник клапана:

1) клапаны с подачей среды под золотник (рис. 5.1, *в – д*);

2) клапаны с подачей среды на золотник (рис. 5.1, *б*). Чувствительным элементом здесь может служить поршень, сильфон или мембрана. При этом иногда седло может быть расположено на подвижном элементе, на который действует давление среды.

Клапаны непрямого действия (рис. 5.1, *е*) подразделяют на следующие типы:

1) импульсно-предохранительные (ИПУ), в которых импульсом для срабатывания привода служит та же рабочая среда, поступающая из импульсного ПК, настроенного на заданное повышение давления;

2) со вспомогательным управлением, в которых осуществляется принудительное открытие от постороннего источника энергии – давления вспомогательной среды (воздух, пар), электромагнита и др.

3) комбинированные клапаны со вспомогательным управлением, аналогичные указанным выше, но в которых главный ПК должен работать так же, как и клапан прямого действия – на случай выхода из строя вспомогательного управления.

В *рычажно-грузовом* предохранительном клапане (рис. 5.2) золотник *б* прижимается к седлу корпуса *5* рычагом *2* через шарнирно соединенный с ним шток *4*. На рычаге *2* закреплен груз *1*, масса которого и место расположения зависят от давления защищаемого аппарата. При повышении давления рабочей среды в аппарате сверх установленного золотник поднимается, открывая проходное сечение клапана, и происходит сброс среды. При снижении давления до давления обратной насадки (давления закрытия) золотник опускается на седло и сброс среды прекращается, а давление в аппарате восстанавливается до рабочего.

Рычажно-грузовые клапаны изготавливают только малоподъемными и используют при небольших аварийных расходах, в основном на жидких (несжимаемых) средах. Устанавливают их лишь в вертикальном положении, при котором золотник строго вертикален. Нижним штуцером их устанавливают на трубопроводе или аппарате, а через боковой штуцер отводится избыток среды.

В *пружинном клапане* (рис. 5.3) золотник *б* прижимается к седлу пружиной *3*. Настройка на требуемое давление осуществляется установкой соответствующих пружин и их натяжкой. Пружинные клапаны более совершенны, чем рычажно-грузовые, имеют меньшую инерционность, массу и габариты и могут устанавливаться в любом положении.

Пружинные клапаны изготавливают малоподъемными и полноподъемными и применяют для установки на аппараты и системы с любыми средами: как нейтральными (вода, пар и др.), так и с коррозионными, агрессивными и токсичными.

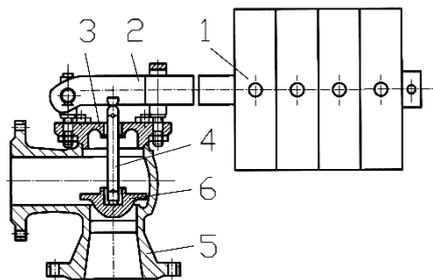


Рис. 5.2. Рычажно-грузовой клапан:

1 – груз; *2* – рычаг; *3* – крышка; *4* – шток; *5* – корпус; *6* – золотник

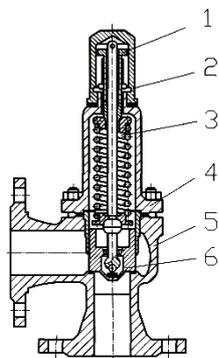


Рис. 5.3. Пружинный клапан:

1 – резьбовая втулка; 2 – колпак; 3 – пружина; 4 – крышка; 5 – корпус; 6 – золотник

Предохранительные мембраны. Классифицируются чаще всего по характеру разрушения и в зависимости от этого их разделяют на разрывные, хлопающие, ломающиеся, срезные, отрывные и специальные.

Разрывные мембраны (рис. 5.4) – наиболее просты и распространены. Мембранный узел, как правило, состоит из мембраны 1 и пары зажимных колец 2 и 3 и устанавливается обычно во фланцевом соединении. Для удобства сборки мембранного узла во фланцевом соединении кольца скреплены одно с другим двумя диаметрально расположенными планками 4 и винтом 5.

Наиболее распространены разрывные мембраны со сплошным куполом. Чаще всего куполообразную форму мембране придают заранее при изготовлении, подвергая ее нагружению давлением, составляющим около 90 % от разрывного. При этом исчерпывается почти весь запас пластических деформаций материала, поэтому значительно увеличивается быстродействие мембраны.

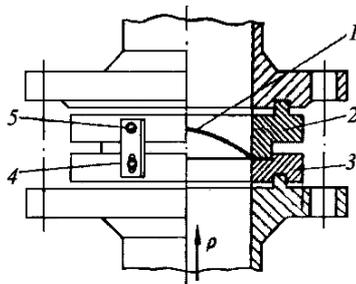


Рис. 5.4. Разрывная предохранительная мембрана с плоским зажимом:

1 – мембрана; 2, 3 – зажимные кольца; 4 – планка; 5 – винт

Разрывные мембраны изготавливают обычно из тонколистового проката пластичных металлов: нержавеющей стали марок 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т и др.; никеля марок НП1, НП2, НПЗ, НП4; алюминия марок А0, А5, А7, АД0, АД1; меди марок М1, М2, М3; титана и др.

На низкое давление срабатывания применяют разрывные мембраны с радиальными или круговыми рисками или мембраны с прорезями. Мембраны с прорезями двухслойные, они имеют дополнительную герметизирующую подложку из коррозионно-стойкого и малопрочного материала (фторопласт, полиэтилен и т.п.).

Хлопающие мембраны (рис. 5.5) применяются, в основном, для аппаратов, работающих под вакуумом или подвергаемых периодическому вакуумированию.

Хлопающие мембраны выпуклой поверхностью обращены внутрь защищаемого аппарата (в сторону повышенного давления). При повышении давления сверх критического сферический купол 5 теряет устойчивость и очень резко с хлопком выворачивается в обратную сторону и, ударяясь о крестообразный нож 1, разрезается на четыре лепестка.

Давление срабатывания хлопающей мембраны определяется не прочностью материала, а устойчивостью ее сферического купола. Критическое давление потери устойчивости тонкостенной сферической оболочки под действием внешнего давления примерно на порядок меньше критического внутреннего давления ее разрыва, поэтому хлопающие мембраны дают возможность значительно снизить давление срабатывания при одной и той же толщине металлопроката.

Ломаящиеся мембраны (рис. 5.6) очень широко применялись до недавнего времени (50 % потребности мембран), но в настоящее время в ряде случаев их с успехом заменяют разрывными.

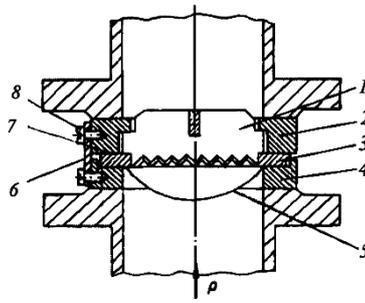


Рис. 5.5. Хлопающая предохранительная мембрана с плоским зажимом и зубчатым ножом:

1 – нож; 2, 3, 4 – зажимные кольца; 5 – мембрана;
6 – пленка; 7 – прокладка; 8 – винт

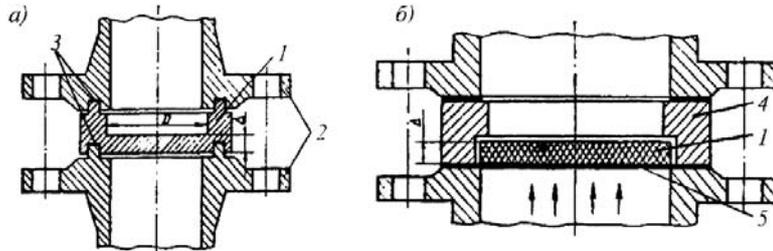


Рис. 5.6. Ломающиеся мембраны:

а – с выточкой; б – со свободной заделкой; 1 – мембрана; 2 – фланцы;
3 – прокладки; 4 – кольцо; 5 – пленка

Ломающиеся мембраны изготавливают из хрупких материалов: чугуна, графита, эбонита, стекла, поливинилхлорида и др.

Давление срабатывания может задаваться в процессе изготовления, что совершенно исключено при изготовлении разрывных мембран из стандартного тонколистового проката. Срабатыванию этих мембран не предшествуют заметные пластические деформации, поэтому они являются наименее инерционными. Наиболее распространены ломающиеся мембраны из чугуна с выточкой (рис. 5.6, а). Такие мембраны крепятся во фланцевом соединении чаще всего без специальных промежуточных колец. Ломающиеся мембраны из таких хрупких материалов, как стекло, графит очень чувствительны к равномерности затяжки фланцевого соединения. При неравномерной затяжке мембрана может разрушаться при монтаже либо она получает настолько большие начальные напряжения, что происходит ее ложное срабатывание сразу же при начальном нагружении рабочим давлением. Для устранения этого недостатка используются незащемленные мембраны (рис. 5.6, б). Мембрана 1 свободно вставлена в выточку кольца 4, а для герметизации узла применена мягкая малопрочная пленка 5.

Основной недостаток ломающихся мембран – большой разброс давления срабатывания, поэтому во многих случаях они не обеспечивают надежной защиты оборудования.

Срезные мембраны (рис. 5.7) при срабатывании срезаются по острой кромке прижимного кольца 3, полностью освобождая проходное сечение для выхода газов.

Мембрана, представленная на рис. 5.7, а, изготовлена из мягкого материала и имеет утолщение по всей рабочей части, чтобы максимально снизить деформации изгиба и тем самым создать условия работы материала на чистый срез. Мембрана, представленная на рис. 5.7, б, изготовлена из мягкого листового проката, а для увеличения жесткости на изгиб в рабочей части имеет накладные диски 4. Зажимные кольца и накладные диски делают закаленными из качественных сталей с остро заточенными режущими кромками.

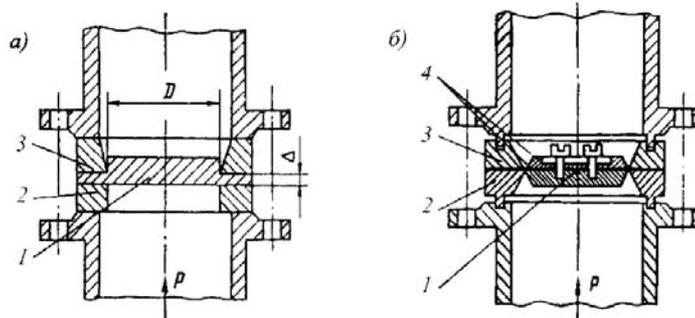


Рис. 5.7. Срезные мембраны:

а – с утолщением; б – с накладными дисками; 1 – мембрана;
2, 3 – кольца; 4 – диски

Основной недостаток мембран этого типа – это большой разброс величины давления срабатывания из-за разброса по механическим свойствам мембраны и состояния режущих кромок.

Отрывные мембраны (рис. 5.8). Чаще всего они имеют вид колпачка с проточкой, образующей в нем ослабленное сечение. Давление срабатывания такой мембраны определяется разностью диаметров внешнего диаметра колпачка и диаметра проточки.

Отрывные мембраны используют обычно для защиты аппаратов, работающих при весьма высоком давлении. Их рекомендуется устанавливать в основном для защиты гидравлических систем, так как при срабатывании такой мембраны в газовых системах оторвавшийся колпачок приобретает большую скорость и становится опасным для оборудования и персонала. Поэтому на линиях сброса газов необходимо предусматривать устройства для улавливания колпачка.

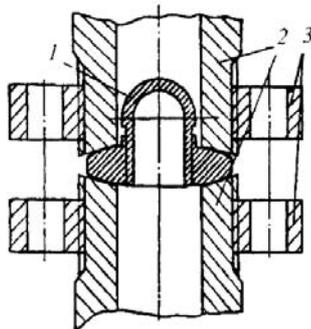


Рис. 5.8. Отрывная мембрана:

1 – мембрана; 2 – патрубки; 3 – фланцы

В промышленности применяют большое число других типов предохранительных устройств с использованием мембран. Поиск новых конструктивных решений обычно диктуется необходимостью повысить точность срабатывания устройств, создать возможность регулирования давления срабатывания, увеличить быстродействие, срок службы, устойчивость к высоким температурам и рядом других специфических требований.

5.2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Четкость функционирования ПУ зависит от правильного выбора наиболее подходящих типов для конкретных условий эксплуатации оборудования.

Основным недостатком ПМ является то, что после их срабатывания из аппарата сбрасывается вся находящаяся в нем технологическая среда, так как выходное отверстие в мембране остается открытым до замены разрушенной мембраны. Это ограничивает применение ПМ.

Основными недостатками ПК по сравнению с ПМ являются большая их сложность и, следовательно, меньшая надежность в эксплуатации, особенно при работе на средах, склонных к полимеризации, осаждению, кристаллизации; меньшая герметичность затвора, вследствие чего при протечках технологической среды иногда наблюдается примерзание золотника к седлу; большая инерционность действия, что не позволяет использовать ПК для защиты оборудования от взрывов технологической среды.

Указанные недостатки ПК и ПМ могут быть в значительной мере устранены установкой ПК совместно с ПМ, помещаемой перед ПК.

Предохранительные клапаны целесообразно использовать в следующих случаях:

а) пружинные и рычажно-грузовые мало- и среднеподъемные – для гидравлических систем при небольших или переменных расходах различных сред; при этом рычажно-грузовые ПК нельзя применять на установках, подверженных вибрации;

б) разгруженные пружинные ПК – для систем с противодавлением и с переменным противодавлением;

в) пружинные ПК с подачей давления на золотник – для систем с небольшим аварийным расходом;

г) ПК непрямого действия со вспомогательным управлением – для систем высокого давления, систем с большим аварийным расходом, при высоком требовании к герметичности, для узкого диапазона давлений при открытии, при возможности пригорания или прилипания золотника к седлу.

При выборе типа ПМ для защиты конкретного аппарата прежде всего следует исходить из условия максимальной надежности защиты. Наиболее надежными в этом отношении являются простые по конструкции разрывные мембраны.

Предохранительные разрывные мембраны со сплошным куполом рекомендуется применять при возможности резкого повышения давления или взрыва среды в аппарате; при требовании повышенной герметичности аппарата; при рабочих средах, склонных к полимеризации, осаждению, кристаллизации.

Разрывные мембраны с прорезями применяют при отсутствии проката, нужного для изготовления разрывных мембран со сплошным куполом.

Хлопающие мембраны по сравнению с разрывными менее надежны из-за более сложной конструкции и высокой чувствительности даже к незначительным повреждениям (вмятинам) купола. Однако хлопающие мембраны хорошо противостоят знакопеременным нагрузкам, в то время как разрывные мембраны из тонколистового проката таким свойством не обладают. Основная область применения хлопающих мембран – защита от превышения избыточного давления аппаратов, работающих под вакуумом или подвергаемых периодическому вакуумированию. В зависимости от материала мембран существует нижний предел их применения по давлению: мембраны из алюминия – 0,02 МПа, из никеля – 0,03 МПа, из нержавеющей стали – 0,08 МПа.

Ломающиеся мембраны применяют для условий динамических и знакопеременных нагрузок.

Отрывные мембраны применяют для аппаратов и на гидравлических линиях высокого и сверхвысокого давления при небольших диаметрах сбросных отверстий.

Для систем с переменным аварийным расходом, который может резко возрасти в условиях пожара, непредусмотренной химической реакции или взрыва, рекомендуется параллельная установка пружинного ПК и ПМ.

В системах, для которых резкое снижение давления и полный сброс рабочей среды при срабатывании ПМ недопустимы, а использование ПК невозможно по причине забивки его проточной части продуктами полимеризации, рекомендуется последовательная установка ПМ и ПК.

5.3. РАСЧЕТ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА ПО ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Давление в емкости не должно превышать максимально допустимое. Расчет предохранительного клапана заключается в определении количества газа (жидкости), вытекшего из сосуда (аппарата), или площади F проходного сечения предохранительного устройства.

Действительный массовый расход Q газа (пара) или жидкости через предохранительный клапан определяется по формулам:

– для водяного пара

$$Q = B_1 B_2 \alpha F p_i, \text{ кг/ч,}$$

где $B_1 = 5,09 B_1' / \sqrt{2}$; B_2 – табличная газодинамическая функция; α – коэффициент расхода (указывают в паспорте предохранительного клапана); F – площадь сечения устья сбросного отверстия, мм²; p_i – давление в сосуде (аппарате), МПа.

$$B_1' = \psi / \sqrt{p_i / \rho_i},$$

где ψ – угол конусности уплотняющих кромок (для клапанов с плоской поверхностью уплотнения $\psi = \pi$); ρ_i – плотность рабочей среды в сосуде (аппарате), кг/м³;

– для газа

$$Q = 3,19 B_3 \alpha F \sqrt{p_i \rho_i}, \text{ кг/ч,}$$

где $B_3 = 1,59 [\psi (p' / p_i)] / \sqrt{2}$; p' – давление в устье сбросного отверстия, МПа;

– для жидкости

$$Q = 5,09 \alpha F \sqrt{\rho_i (p_i - p')}.$$

Коэффициенты расхода α предохранительных клапанов указывают в их паспорте. В противном случае коэффициент расхода принимают равным $\alpha = \sqrt{\xi}$ (ξ – коэффициент гидравлического сопротивления предохранительного клапана).

5.4. РАСЧЕТ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ МЕМБРАН НА ЗАДАННОЕ ДАВЛЕНИЕ СРАБАТЫВАНИЯ

При расчете предохранительных мембран наряду с расчетом их пропускной способности (или размеров пропускного отверстия) необходимо определить толщину мембраны для обеспечения ее разрушения при заданном давлении срабатывания.

При расчете толщины мембраны на заданное давление срабатывания исходными данными являются: рабочий диаметр мембраны (диаметр в свету) – D ; материал мембраны, который выбирают в зависимости от коррозионных свойств среды в аппарате и рабочих параметров (давления и температуры); давление срабатывания мембраны p_1 ; рабочая температура в месте установки мембраны t .

Расчет разрывных мембран. При нагружении плоской мембраны из тонколистового проката пластичного материала перепадом давлений она приобретает форму сферического купола. Таким образом, непосредственно перед разрывом мембрана работает как тонкостенная сферическая оболочка радиусом R (рис. 5.9) и толщиной s , защемленная по контуру диаметром D .

Разрывное давление p_1 такой оболочки (давление срабатывания мембраны) может быть определено по формуле:

$$p_1 = 2s_0 \sigma_{\text{вр}} / R,$$

где s_0 – толщина материала мембраны; $\sigma_{\text{вр}}$ – временное сопротивление материала при растяжении (предел прочности); R – радиус кривизны срединной поверхности оболочки, который определяется пластическими свойствами материала мембраны.

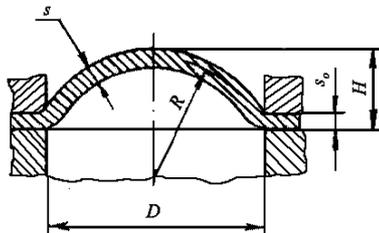


Рис. 5.9. Расчетная схема разрывной мембраны

Толщину металлопроката мембраны со сплюсненным куполом определяют по формуле:

$$s_0 = \frac{p_1 D}{8K_t \delta_{\text{вр}}} \sqrt{\frac{1 + \delta}{\sqrt{1 + \delta} - 1}},$$

где p_1 – давление срабатывания мембраны; D – диаметр мембраны; K_t – температурный поправочный коэффициент; δ – относительное удлинение материала при разрыве. Значения K_t для некоторых материалов приведены в справочной литературе.

Расчет хлопающих мембран. Хлопающая мембрана представляет собой тонкостенную сферическую оболочку, нагруженную внешним давлением; ее расчет базируется на теории устойчивости пологих сферических оболочек, деформации которых описываются дифференциальными уравнениями, решаемыми на ЭВМ. Для практических инженерных расчетов устойчивости тонкостенных оболочек можно рекомендовать следующее простое приближенное уравнение:

$$p_{кр} = KE(s^2/R^2),$$

где $p_{кр}$ – критическое внешнее давление, определяющее предел устойчивости оболочки; R – радиус кривизны оболочки; E – модуль упругости материала оболочки; K – опытный коэффициент (его величина зависит от способа заземления оболочки по контуру).

Для создания наиболее благоприятных условий разрушения хлопающей мембраны после потери устойчивости купола радиус кривизны R должен быть минимальным. Для мембран с коническим заземлением (рис. 5.10, а) минимальный радиус можно найти по формуле:

$$R_{min} = D/2 \cos \varphi_{min},$$

где D – диаметр заземления; φ_{min} – минимальный угол кривизны.

Если мембраны изготавливают из таких пластичных материалов, как алюминий, никель, нержавеющая сталь и латунь, то угол φ_{min} может быть принят в пределах $45 \dots 50^\circ$.

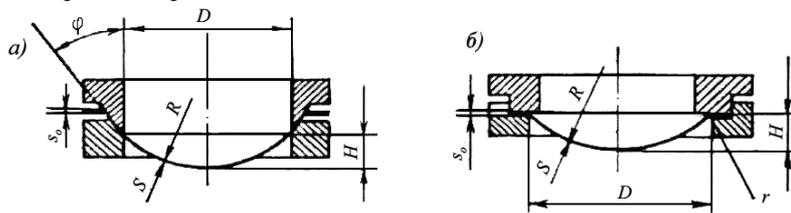


Рис. 5.10. Расчетные схемы хлопающих мембран:
а – с коническим зажимом; б – с плоским зажимом

Для мембран с плоским заземлением (рис. 5.10, б) предел свободного выпучивания купола принято характеризовать предельным отношением высоты купола H к диаметру заземления D ; для указанных выше материалов $(H/D)_{max} \approx 0,2$.

С учетом этих соотношений для расчета толщины металлопроката s_0 можно рекомендовать формулу:

$$s_0 = 0,85D\sqrt{p_c/K_1E}.$$

Эта формула справедлива, если материал мембраны вплоть до момента потери устойчивости купола (до срабатывания мембраны) работает в области упругих деформаций, т.е. когда

$$p_c \leq K_2^2 E / K_1.$$

Если же $p_c > K_2^2 E / K_1$, то на некоторых участках купола, в частности, вблизи кромки заземления наблюдаются пластические деформации материала, и для расчета хлопающих мембран рекомендуется следующая эмпирическая формула:

$$p_0 = 0,85D(p_c/K_2E).$$

Значения опытных коэффициентов K_1 и K_2 , а также модуля упругости E и предельно допустимых температур для мембран из различных материалов приведены в справочной литературе.

Расчет ломающихся мембран. На практике встречаются два вида ломающихся мембран, расчетные схемы которых существенно различаются. В первом случае (рис. 5.6, а) рабочая часть мембраны толщиной s выполнена как одно целое с ее жестким кольцом для зажима, во втором (рис. 5.6, б) мембрана l свободно вставлена в соответствующую выточку в кольце 4 , а для герметизации устройства применена тонкая малопрочная пленка 5 .

При расчете мембрану (рис. 5.6, а) можно рассматривать как круглую пластину, жестко заземленную по контуру. Если материал является настолько хрупким, что прогиб мембраны, предшествующий ее разрушению, можно считать малым по сравнению с толщиной рабочей поверхности s , то при расчете таких мембран можно пользоваться формулой:

$$s_0 = (D/4)\sqrt{3p_c/\sigma_{вр}},$$

где D – диаметр мембраны; $\sigma_{вр}$ – предел прочности материала мембраны.

Мембрану на рис. 5.6, б можно рассматривать как пластину, свободно опирающуюся на контур. Толщину такой мембраны можно определить по формуле:

$$s = (D/4)\sqrt{(3p_c/2\sigma_{вр})(3 + \mu)},$$

где μ – коэффициент Пуассона; для большинства хрупких материалов, применяемых для изготовления ломающихся мембран, он составляет 0,2...0,3.

Расчет срезных мембран. Расчетная схема срезных мембран предельно проста. Чтобы мембраны (рис. 5.7) работали на чистый срез, необходимо соблюдать два основных условия: 1) кромки зажимного кольца, к которому мембрана прижимается давлением среды, по диаметру D должны быть достаточно острыми; 2) вся часть мембраны, воспринимающая давление среды, должна быть достаточно жесткой, чтобы исключить влияние ее изгиба на работу мембраны.

При этих условиях толщину мембраны в месте среза можно определить по формуле

$$s = (D/4)(p_c/\tau_{cp}),$$

где τ_{cp} – предел прочности материала мембраны на срез.

Расчет отрывных мембран. Отрывные (колпачковые) мембраны (рис. 5.8) рассчитывают из условия, что на колпачок в момент срабатывания действует сила $P = 0,25\pi D^2 p$ и отрыв его произойдет, когда в ослабленном сечении возникнут растягивающие напряжения, равные пределу прочности $\sigma_{вр}$.

Заданное давление срабатывания таких мембран устанавливают, варьируя диаметр D , определяемый по формуле:

$$D_1 = D\sqrt{1 + p_1/\sigma_{вр}}.$$

В дополнение к расчетам на пропускную способность и заданное давление срабатывания проводят динамические расчеты мембран с целью определения полного раскрытия сбросного отверстия и изменения давления срабатывания мембран, обусловленных динамикой роста давления среды в аппарате.

6. ЗАЩИТНАЯ АРМАТУРА

Защитная (отсечная) арматура является одной из разновидностей предохранительной арматуры. Назначение защитной арматуры состоит в предотвращении аварийной ситуации в системах путем отключения защищаемого участка от обратного потока, чрезмерного повышения или понижения давления и т.п.

В отличие от предохранительной арматуры, которая открывается для выпуска избытка среды при повышении давления выше предельно допустимого, защитная закрывается в требуемый момент времени.

К защитной арматуре относятся отсечные и обратные клапаны.

Отсечные клапаны создаются путем оснащения запорной арматуры быстродействующими приводами, срабатывающими по командному сигналу. В этих целях чаще всего используются поршневые пневмо- и гидроприводы.

Обратные клапаны срабатывают автоматически под действием энергии среды (у них нет привода). Они предназначены для защиты систем от обратного потока и бывают подъемными и поворотными.

В *обратном подъемном клапане* (рис. 6.1) при движении среды в трубопроводе золотник 3 находится в положении «открыто» (приподнят), поскольку сила от давления среды преодолевает вес золотника. С прекращением подачи среды при возникновении обратного потока золотник опускается на седло и клапан закрывается. Подъемные обратные клапаны обычно используются при малых значениях диаметра D , и при чистых средах.

Для агрессивных сред применяют обратные подъемные клапаны из коррозионных сталей, титана или мембранные обратные клапаны чугуновые с защитным покрытием.

В *обратных поворотных клапанах* (рис. 6.2) проходное сечение закрывается диском 2, поворачивающимся вокруг горизонтальной оси 3. Такие клапаны менее чувствительны к загрязненности среды, но по герметичности уступают подъемным клапанам.

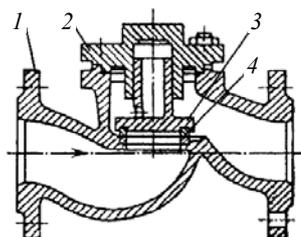


Рис. 6.1. Обратный клапан подъемный:

1 – корпус; 2 – крышка;
3 – золотник; 4 – седло

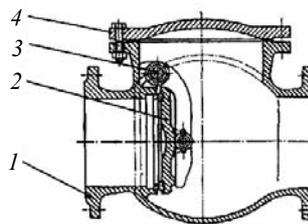


Рис. 6.2. Обратный клапан поворотный:

1 – корпус; 2 – диск;
3 – ось; 4 – крышка

7. ДИАГНОСТИКА – ОСНОВА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Для оценки технического состояния оборудования (диагностики) с целью его безопасной эксплуатации применяют неразрушающие методы контроля с использованием физических полей излучений (магнитные, радиационные, рентгеновские, акустические и другие). Различают девять методов неразрушающего контроля: оптические, магнитные, электрические, вихретоковые, радиоволновые, тепловые, радиационные, акустические и проникающих веществ.

Достоверную информацию о состоянии диагностируемого объекта получают, используя несколько методов неразрушающего контроля. В программе, по которой проводят диагностирование аппарата или машины, визуально-оптический контроль стоит обычно первым.

7.1. ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Визуально-оптический контроль основан на анализе взаимодействия оптического излучения объекта контроля и контролирующего прибора. Если дефекты оборудования определяются только с помощью глаз человека, то имеет место визуальный контроль, при котором можно определять остаточную деформацию, поверхностную пористость, крупные трещины, риски, эрозионные и коррозионные поражения и т.п. Если человеческий глаз «вооружен» контрольными оптическими приборами, которые значительно расширяют пределы естественных возможностей зрения, то в данном случае имеет место визуально-оптический контроль оборудования.

Малая трудоемкость и простота контроля – основные преимущества этого метода. Но визуально-оптический контроль характеризуется недостаточно высокой достоверностью и чувствительностью из-за субъективности операторов. Кроме того, с ростом кратности (увеличения) оптических приборов сокращается поле зрения и глубина резкости, а, следовательно, снижаются производительность и надежность контроля. Поэтому для визуально-оптического контроля в основном применяют оптические приборы с увеличением не более $20 \dots 30^{\times}$.

Эти факторы и определили области применения визуально-оптического метода:

- поиск поверхностных дефектов (эрозионных и коррозионных повреждений, трещин, открытых раковин, пор и др.);
- обнаружение мест разрушений элементов конструкций, остаточных деформаций, удаленных элементов объекта, загрязнений;
- определение типа и характера дефектов, обнаруженных другими методами дефектоскопии (ультразвуковым, цветным и др.).

7.1.1. Основные приборы визуально-оптического контроля

В общем случае функционирование приборов визуально-оптического контроля базируется на следующей структурной схеме: осветитель – приемник излучения – сканатор объекта – блок обработки сигнала и управления (микропроцессор, ПЭВМ и т.д.). Эта схема может значительно упрощаться, например, в случае визуального и измерительного контроля: естественное освещение – простейший оптический прибор (лупа) – контролер.

Оптические приборы по виду приемника излучения условно делят на три группы: визуальные, детекторные и комбинированные. Если основным приемником лучистой энергии является глаз – это визуальные приборы. Если приемником лучистой энергии являются химические реагенты (фотоэмульсии), люминесцирующие вещества, электронные устройства, то это детекторные приборы. Если обзор объектов контроля осуществляют и визуально и с помощью детектора, то это комбинированные приборы.

К визуальной группе приборов относятся лупы, микроскопы, эндоскопы, а также измерительные приборы: штангенциркули, шупы, индикаторные толщиномеры, радиусные шаблоны, линейки, угломеры, уровни и т.д. Эти приборы и инструменты используют при проведении визуального и измерительного контроля оборудования.

Самым простым и удобным оптическим средством контроля является лупа. В дефектоскопии часто используют накладные (контактные) измерительные лупы, например, ЛИЗ-10[×]. Они состоят из плоской стеклянной линейки (длиной 15 мм и с ценой деления 0,1 мм), накладываемой на объект контроля.

Для контроля деталей и их дефектов используют измерительные микроскопы. Они содержат набор измерительных шкал, расположенных в плоскости микрообъектива, что позволяет определять линейные размеры дефектов с точностью $0,5 \dots 1$ мкм при увеличении $10^{\times} \dots 20^{\times}$. Эти данные приведены для микроскопа типа МОВ-15[×]. Для микроскопов данного типа поле зрения составляет $1 \dots 20$ мм. Для наблюдения прямого объемного изображения объекта в отраженном и проходящем свете служат микроскопы типа МБС, которые могут обеспечивать увеличение до 100^{\times} при постоянном рабочем расстоянии равном 100 мм.

Лупы и микроскопы предназначены для контроля расположенных близко объектов наблюдения. Для контроля удаленных объектов при необходимости используют оптические приборы прямого зрения: бинокли, телескопические зрительные трубы и т.д. Эти приборы предназначены для визуального контроля силовых элементов конструкций, дымовых труб, находящихся в пределах прямой видимости.

В процессе диагностирования технологического оборудования необходимо контролировать внутренние поверхности полых устройств, а также проводить осмотр труднодоступных мест деталей, трубопроводов и т.п. В этих случаях используют оптические приборы, которые называются эндоскопами или бороскопами.

В основе эндоскопа лежит оптическая система, которая позволяет передавать изображение участка осмотра на значительное расстояние (до нескольких метров). Эндоскопы подразделяются на линзовые, оптико-волоконные и комбинированные. Увеличение линзовых эндоскопов достигает 5^{\times} . Линзовый эндоскоп конструктивно выполнен в виде цилиндра, внутри которого находятся все элементы прибора. Схема линзового эндоскопа представлена на рис. 7.1 и включает в себя элементы: источник света 1; призмную или зеркальную насадку 2, которая может изменять направление и размеры поля зрения; систему линз объектива 3; передающую систему линз 4; окуляр 5; сменную систему линз 6, которая может служить

для увеличения рабочей длины эндоскопа или подключения телевизионной системы наблюдения 7. На схеме также изображен глаз наблюдателя 8 и объект контроля 9.

Сменные призмные насадки 3 позволяют производить наблюдения с кольцевым полем обзора или с боковым направлением визирования. Прибор снабжен шкалой для определения места положения дефекта. Обычно эндоскопы имеют жесткую конструкцию, но есть приборы, которые имеют гибкие участки корпуса, изгибающиеся в пределах $5 \dots 10^\circ$. Линзовые эндоскопы предназначены для обнаружения трещин, царапин, выбоин и других дефектов размерами $0.03 \dots 0.08$ мм в изделиях длиной до 10 м и диаметром от 5 мм и более.

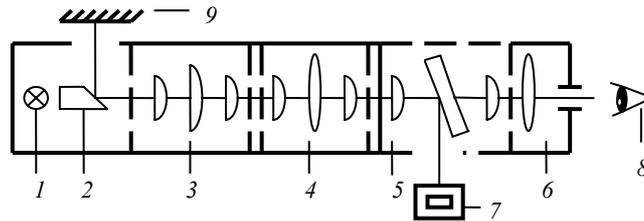


Рис. 7.1. Схема линзового эндоскопа

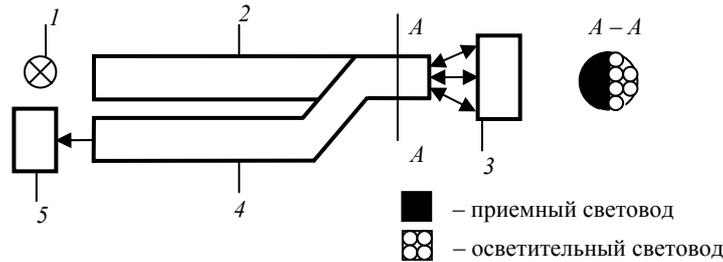


Рис. 7.2. Схема волоконно-оптического измерителя:

1 – источник света; 2 – световод осветительный; 3 – объект контроля; 4 – световод приемный; 5 – приемник изображения

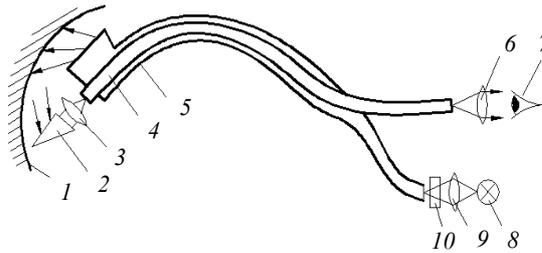


Рис. 7.3. Схема гибкого эндоскопа:

1 – объект контроля; 2 – призма; 3 – линза объектива; 4 – световод изображения; 5 – световод освещения; 6 – окуляр; 7 – система регистрации (глаз, фотокамера); 8 – источник света; 9 – линза; 10 – тепловой фильтр

В последнее время широкое применение в технике находят эндоскопы на основе оптических волокон (рис. 7.2 и 7.3). Элементарный световод представляет собой светопроводящую нить диаметром $10 \dots 20$ мкм. Эта нить покрыта снаружи тонким слоем ($1 \dots 2$ мкм) материала, который имеет более низкий показатель преломления. Лучи света, падающие на открытый торец такого волокна, благодаря полному внутреннему отражению на границе раздела световод – оболочка, будут проходить в итоге вдоль волокна до противоположного торца. На рис. 7.2 приведена схема волоконно-оптического измерителя зазоров и смещений.

Другим преимуществом волоконно-оптических эндоскопов является то, что источник света находится вне зоны контроля объекта, а это исключает нагрев этой зоны. Схема гибкого волоконно-оптического эндоскопа показана на рис. 7.3.

Многие типы волоконно-оптических эндоскопов имеют механизмы дистанционной фокусировки объектива и изгиба передней части прибора.

Следует отметить, что по качеству изображения волоконно-оптические эндоскопы уступают линзовым, но они позволяют передавать изображение без искажения при любом их изгибе.

7.2. РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Неразрушающий контроль оборудования радиационными методами основан на способности ионизирующих излучений проникать (рис. 7.4) через конструкционные материалы (оптически непрозрачные) с той или иной степенью ослабления в зависимости от свойств изделия и воздействовать на регистрирующее устройство (детектор).

В настоящее время для реализации радиационных методов контроля используют до десяти видов ионизирующих излучений. Для диагностики технологического оборудования, сооружений и трубопроводов чаще всего используют рентгеновское и гамма-излучение. Такие ионизирующие излучения, как радиоволны, видимый свет, ультрафиолетовые и инфракрасные лучи являются по природе своей электромагнитными колебаниями, но с малой длиной волны $0,3 \dots 5 \times 10^{-5}$ нм.

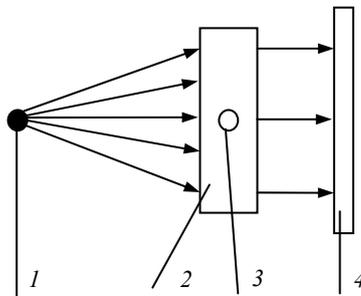


Рис. 7.4. Схема радиационного «просвечивания»:

1 – источник ионизирующего излучения; 2 – контролируемый элемент; 3 – дефект; 4 – детектор

Основные виды источников излучения условно делят на три группы (рис. 7.5).

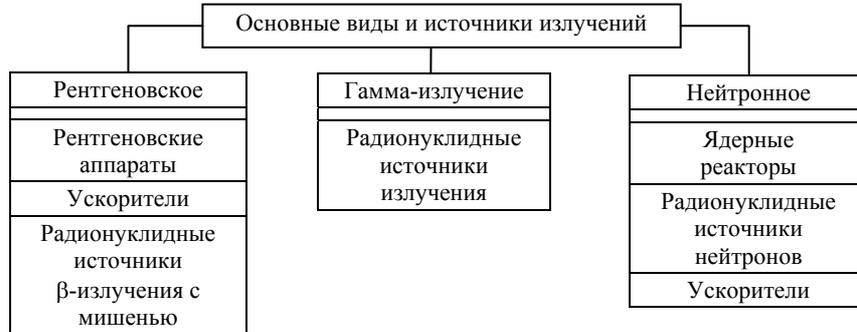


Рис. 7.5. Классификация источников ионизирующих излучений

7.2.1. Оборудование для радиационных методов контроля

Рентгеновские аппараты. Основным элементом этих аппаратов является рентгеновская трубка. Аппараты бывают двухэлектродные, с вынесенными и вращающимися анодами, секционированные, импульсные и двухфокусные. Чаще всего используют двухэлектродные трубки. Такие трубки представляют стеклянный баллон под вакуумом $10^{-6} \dots 10^{-8}$ мм рт. ст., в который впаяны два электрода. Схема просвечивания такой трубкой представлена на рис. 7.6.

Стеклянный баллон помещен в защищенный кожух, заполненный охлаждающей изолирующей средой. В состав рентгеновского аппарата также входят источник высокого напряжения и контрольно-измерительные приборы.

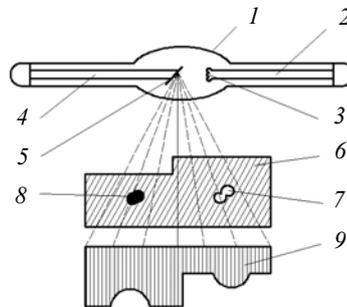


Рис. 7.6. Схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки:

1 – стеклянный баллон; 2 – катод; 3 – вольфрамовая спираль;

4 – анод (медный полый цилиндр); 5 – вольфрамовая мишень;

6 – объект контроля; 7 – раковина в объекте контроля;

8 – плотное включение; 9 – эпюра интенсивности излучения за объектом

Принцип действия аппарата следующий. Питающее напряжение от электросети подается на автотрансформатор. С помощью корректоров регулировки по вольтметру устанавливается требуемое напряжение в зависимости от свойств контролируемого объекта. Затем это напряжение подается на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. От него высокое напряжение (до нескольких сотен киловольт) подводится к электродам трубки. Кроме того, отдельно к спирали катода подводится низкое напряжение 2...12 В от специального трансформатора.

При накале нити спирали вследствие термоэлектронной эмиссии из нее вылетают электроны, которые специальным устройством (на схеме не показано) фокусируются в узкий пучок и под действием электрического поля с большой скоростью движутся к аноду. Электронный пучок, падая на мишень, тормозится ею. При этом возникает тормозное рентгеновское излучение, которое направляется на контролируемый объект 3.

Электронный пучок генерирует излучение на определенной площади мишени анода. Этот участок мишени называется действительным фокусным пятном рентгеновской трубки. Действительные фокусные пятна бывают прямоугольными и эллиптическими. В зависимости от диаметра пятна трубки бывают острофокусные (диаметр 100 мкм...1 мм) и мик-

рофокусные, когда диаметр пятна менее 100 мкм. Проекция фокусного пятна в направлении выхода лучей называется эффективным фокусным пятном 3.

По конструкции рентгеновские аппараты делят на: стационарные, передвижные и переносные, а также на кабельные и моноблочные. Для кабельных характерно наличие двух блоков: генератора высокого напряжения и рентгеновской трубки, соединенных между собой высоковольтным кабелем. В моноблочных эти элементы находятся в одном блоке. Моноблочные рентгеновские аппараты легче и компактнее кабельных.

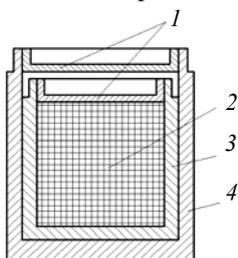


Рис. 7.7. Схема ампулы источника гамма-излучения (^{137}Cs):

- 1 – крышка;
- 2 – активная часть;
- 3 – внутренняя ампула;
- 4 – наружная ампула

В промышленности широко применяют также гамма-дефектоскопы. Источниками ионизирующего излучения для гамма-дефектоскопов служат радионуклиды, которые в целях безопасности помещают в герметичные ампулы из нержавеющей стали или других материалов, исключающих излучение радиоактивных веществ в окружающую среду (рис. 7.7). Изотопы для гамма-дефектоскопов получают в ядерных реакторах облучением неактивных заготовок потоком нейтронов (^{60}Co , ^{192}Ir) или разделением остаточных продуктов ядерного горючего (^{137}Cs , ^{90}Sr), а также облучением неактивных заготовок (^{55}Fe , ^{54}Mn).

Изотопные источники характеризуются энергией излучения, мощностью экспозиционной дозы, активностью, периодом полураспада и величиной фокусного пятна (проекцией верхней активной части источника в направлении излучения).

Важной характеристикой изотопных источников является мощность экспозиционной дозы. Она определяет величину экспонирования, т.е. производительность контроля, а также требования к конструкции защитных устройств и технике безопасности. В процессе радиоактивного распада изотопа мощность экспозиционной дозы непрерывно убывает.

Гамма-дефектоскопы представляют собой устройства, которые позволяют манипулировать источниками при просвечивании объектов контроля и защищать при этом операторов от вредного воздействия излучений. Схема такого дефектоскопа представлена на рис. 7.8.

Гамма-дефектоскопы могут обеспечивать как направленное, так и панорамное излучение. Для формирования направленного пучка служат коллиматоры. Главной частью гамма-дефектоскопа является защитная радиационная головка 4, где размещается в нерабочем положении ампула с источником излучения. Ампула в рабочее положение подается по ампулопроводу 5 из радиационной головки в коллиматор 6 дистанционно с использованием ручного или электромеханического привода 1. В комплект дефектоскопа входит специальный магазин-контейнер, в котором находятся запасные источники различной мощности.

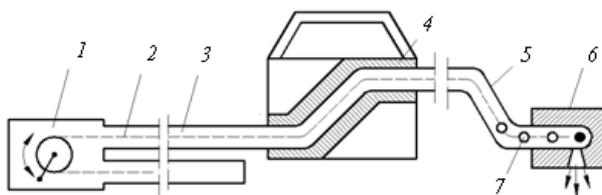


Рис. 7.8. Схема гамма-дефектоскопа шлангового типа:

- 1 – привод; 2 – подающий канал; 3 – соединительный шланг;
- 4 – радиационная головка; 5 – ампулопровод; 6 – коллимирующая головка;
- 7 – держатель источника излучения

7.2.2. Детектирование при радиационном контроле

Как отмечалось выше, фиксирование дефектов в объекте контроля при просвечивании ионизирующими источниками производится одним из следующих трех способов детектирования (рис. 7.9): радиографическим, радиоскопическим или радиометрическим.



Рис. 7.9. Классификация способов детектирования

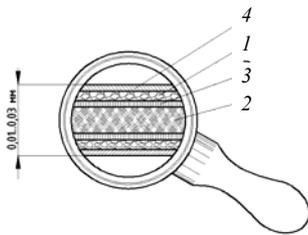


Рис. 7.10. Схема строения рентгеновской пленки:
 1 – эмульсионный слой;
 2 – подложка;
 3 – подслой;
 4 – защитный слой

Радиографический способ наиболее распространен из-за простоты и документальности подтверждения результатов контроля. Способ основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или записи этого изображения на запоминающее устройство с последующим преобразованием его в световое изображение.

Различают пленочную радиографию и электрорадиографию. В случае пленочной радиографии детектором и регистратором изображения служит фоточувствительная пленка. Основным детектирующим элементом такой рентгеновской пленки является фотоэмульсионный слой толщиной 0,01...0,03 мм, нанесенный на подложку. На рис. 7.10 представлен в увеличенном виде разрез пленки. При электрорадиографии используют в качестве детектора полупроводниковую пластину, а в качестве регистратора – бумагу.

Радиоскопический способ основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в световое изображение на экране радиационно-оптического преобразователя. В процессе дефектации проводится анализ полученного изображения. Хотя чувствительность этого способа меньше, чем радиографического, данный метод экспрессивен, непрерывен и позволяет рассматривать объект контроля под разными углами (стереоскопическое видение).

Радиометрический способ основан на получении информации о внутреннем состоянии контролируемого объекта в виде электрических сигналов различной величины, длительности и количества. Этот метод позволяет автоматизировать процесс контроля, он отличается непрерывностью, высокой производительностью и не уступает по чувствительности радиографии.

Особо важным этапом диагностики радиационными методами является расшифровка результатов контроля. Расшифровку проводят наиболее опытные операторы-расшифровщики с применением современной техники.

Следует отметить, что радиационные методы неразрушающего контроля, как и другие, нормированы техническими руководящими документами и Государственными Стандартами.

7.2.3. Радиационная безопасность

В процессе проведения работ по радиационной дефектоскопии для обеспечения безопасности следует руководствоваться нормативными документами СПН 1171-74, СПН 2191-80, ОСЛ 72180. Операторы, работающие с источниками излучения, проходят специальную подготовку, сдают экзамены и должны иметь соответствующее удостоверение. Состояние здоровья операторов контролируется медицинской комиссией.

На организм оператора могут оказывать вредное влияние два вида воздействия излучений: внешнее (организм подвергается облучению от источника) и внутреннее (от радиоактивных веществ, попадающих внутрь организма).

Как правило, операторы подвержены внешнему облучению ионизирующими источниками. От величины поглощенной всем телом оператора дозы зависит изменение состояния организма:

- до 25 рад – видимых изменений нет;
- 25...50 рад – возможны изменения в крови;
- 50...100 рад – нарушение нормальной работоспособности;
- 100...200 рад – возможна потеря трудоспособности;
- более 200 рад – возможен смертельный исход.

Ионизирующие излучения человеком не ощущаются, но поглощенные дозы суммируются организмом и в дальнейшем проявляются в соответствии с приведенными выше данными.

Чувствительность к ионизационному излучению органов человеческого тела различна. В порядке убывания чувствительности установлены три группы критических органов: 1 группа – все тело, красный костный мозг; 2 группа – мышцы, щитовидная железа; жировая ткань; печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, которые не относятся к 1 и 3 группам; 3 группа – кожный покров, костная ткань, кисти предплечья, лодыжки и стопы.

Санитарными нормами для операторов рентгено- и гамма-просвечивания, исходя из предельно допустимой дозы (ПДД) в 5 бэр/год, установлена ПДД облучения всего тела 2,8 мР/ч и, если принять, что в рабочей неделе t часов, то $ПДД = 100/t$ мР/ч.

Для обеспечения радиационной безопасности используют различные методы защиты от ионизирующего излучения. Распространенными способами защиты являются: защита расстоянием и ослабление излучения экраном из тяжелого металла.

Различают стационарные защитные устройства (стены, перекрытия, двери, смотровые окна) и нестационарные (экраны, передвижные защитные кабинки, ширмы, защитные кожухи гамма-аппаратов и рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения источников излучения).

Для соблюдения правил радиационной безопасности назначается на предприятии ответственное компетентное лицо, в обязанности которого входят:

- не реже двух раз в месяц производить измерение мощностей доз излучения на расстоянии 0,1 и 1 м от поверхности радиационной головки;
- не реже 2 раз в год осуществлять контроль эффективности защиты хранилища и смежных с ним помещений;
- постоянно измерять индивидуальные дозы облучения операторов;
- вести журнал доз облучения.

Лаборатория радиационной дефектоскопии должна быть укомплектована приборами дозиметрического и радиометрического контроля для индивидуального контроля полученной дозы и для контроля загрязненности поверхности помещений.

7.3. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

7.3.1. Физические основы акустических методов

Акустические методы неразрушающего контроля нашли широкое распространение во многих отраслях промышленности благодаря их следующим качествам:

- высокая чувствительность к мелким дефектам;
- большая проникающая способность;
- возможность определения размеров и места расположения дефектов;
- оперативность индикации дефектов;
- возможность контроля при одностороннем доступе к объекту;
- высокая производительность;
- безопасность работы оператора и окружающего персонала.

Акустические методы контроля имеют и недостатки: необходимость высокой чистоты обработки поверхности контролируемого объекта; наличие мертвых зон, которые снижают эффективность контроля; необходимость разработки специальных методов контроля для отдельных сложных объектов.

Разработано большое количество методов акустического контроля изделий. Чаще всего в промышленности акустические методы используют для следующих целей:

- определение толщины объекта;
- контроль сплошности;
- определение физико-химических свойств материала объекта, а также изучение кинетики разрушения изделия, что позволяет прогнозировать их надежность.

Акустические методы контроля основаны на распространении и отражении упругих волн в упругих средах. При этом частицы среды не переносятся, а совершают колебания с определенной частотой f относительно точек равновесия. Если в объекте возбудить с помощью источника колебание, то оно будет распространяться от частицы к частице в материале объекта со скоростью c . Расстояние между частицами, которые колеблются в одинаковой фазе, называется длиной волны λ . Частота колебаний f , скорость c и длина волны λ связаны следующей зависимостью:

$$\lambda = c/f.$$

Для реализации акустических методов используют упругие колебания в звуковом диапазоне с частотой от 20 до 2×10^4 Гц и в ультразвуковом от 2×10^4 до 1×10^9 Гц. Чаще всего в промышленности используют ультразвуковой диапазон, поэтому эти методы называют ультразвуковыми методами контроля (УЗК).

Энергия ультразвуковых колебаний в процессе их распространения постепенно убывает, что обусловлено геометрическим расхождением лучей, а также тем, что часть ее, поглощаясь средой, переходит в тепловую энергию, а часть рассеивается зернами металла в результате повторных отражений (структурная реверберация).

Оперативность и точность ультразвуковых методов контроля зависят не только от вида и скорости распространения волн, но и от свойств контролируемых объектов (удельное волновое сопротивление материала, плотность, размеры и форма тела).

Для возбуждения ультразвуковых колебаний чаще всего для контроля используют пьезоэлектрические преобразователи, которые изготавливают из монокристалла кварца или пьезокерамических материалов: титаната бария, цирконат-титаната свинца и др. Из таких материалов делают пластину, на параллельные поверхности которой наносят тонкие слои серебра, служащие электродами. Затем пластину поляризуют в постоянном электрическом поле, после чего такое изделие приобретает пьезоэлектрические свойства (рис.7.11).

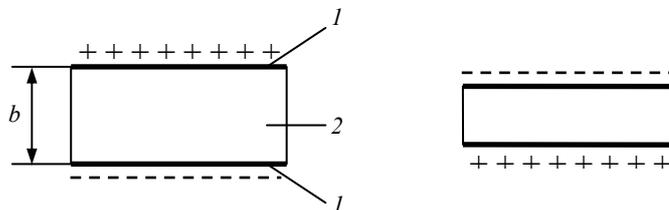


Рис. 7.11. Пьезопреобразователь:

1 – электроды; 2 – пьезопластина; b – начальная толщина пластины

Если к электродам приложить переменное электрическое напряжение, то пластина будет совершать вынужденные колебания, растягиваясь и сжимаясь, с частотой приложенного электрического напряжения (обратный пьезоэффект). Если на пластину воздействовать упругими механическими колебаниями, то на ее электродах возникает переменное электрическое напряжение с частотой приложенных механических колебаний (прямой пьезоэффект).

Напряжение на электродах определяет амплитуду колебаний пластины. Кроме того, если частота возбуждающего переменного напряжения совпадает с собственной частотой колебаний пластины (резонанс), то амплитуда колебаний будет максимальной. Следует отметить, что собственная частота колебаний пластины зависит от ее толщины и скорости упругих волн.

7.3.2. Методы ультразвуковой дефектоскопии

Для ультразвуковой диагностики оборудования используют чаще всего три метода обнаружения дефектов: эхо-импульсный, теневой и зеркально-теновой. *Эхо-импульсный* метод реализуется путем ввода в объект контроля импульса ультразвука и приема отраженного от дефекта эхо-сигнала, который и свидетельствует о наличии несплошности. Фиксирование отраженного ультразвука (амплитуды сигнала) от границ объекта контроля и от дефекта осуществляется с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). По времени между вводом импульса и приемом отраженного эхо-сигнала от дефекта судят о глубине его залегания (рис. 7.12).

Рис. 7.12. Схема ультразвукового контроля эхо-импульсным методом:

a – без дефекта; *б* – с дефектом;
Г – генератор ультразвуковых колебаний; П – приемник;
ЭЛТ – электронно-лучевая трубка;
1 – зондирующий импульс;
2 – донный импульс;
3 – импульс от дефекта

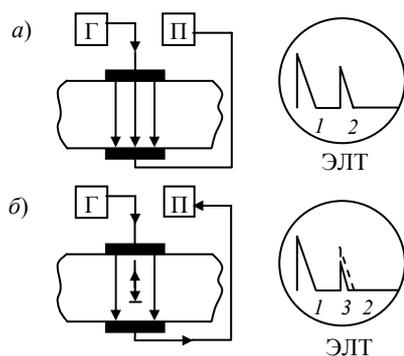
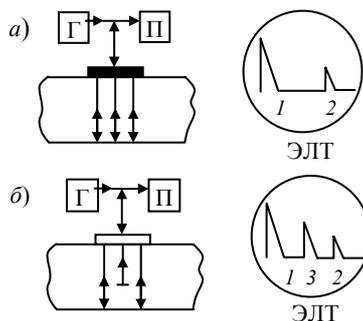


Рис. 7.13. Схема ультразвукового контроля теневым методом:

a – без дефекта; *б* – с дефектом;
Г – генератор ультразвуковых колебаний; П – приемник;
ЭЛТ – электронно-лучевая трубка;
1 – зондирующий импульс;
2 – донный импульс;
3 – импульс от дефекта

Рис. 7.14. Схема ультразвукового контроля зеркально-теновым методом:

a – без дефекта; *б* – с дефектом;
Г – генератор ультразвуковых колебаний; П – приемник;
ЭЛТ – электронно-лучевая трубка;
1 – зондирующий импульс; 2 – донный импульс; 3 – импульс от дефекта

Теновой метод характеризуется тем, что искатели (один излучатель, другой приемник) располагаются на противоположных поверхностях объекта контроля. Ультразвук проходит через контролируемое сечение, и о наличии дефекта судят по уменьшению амплитуды (интенсивности) сигнала (рис. 7.13). Для этого метода можно использовать как импульсный, так и непрерывный режим излучения ультразвука.

Зеркально-теновой метод отличается от рассмотренных выше методов тем, что наличие дефекта определяется по уменьшению амплитуды эхо-сигнала, отраженного от противоположной (донной) поверхности объекта и ослабленного этим дефектом (рис. 7.14).

Каждый из рассмотренных методов имеет определенную область применения, в которой он эффективен. Например, для контроля сварных соединений широко применяется эхо-импульсный метод, так как он обладает более высокой чувствительностью, чем теневой и зеркально-теновой, а также позволяет совместить в одном искателе функции излучателя и приемника.

Для тенового метода необходимо иметь возможность доступа к контролируемой зоне объекта с двух сторон, но при этом на эффективность влияет соблюдение определенного взаимного расположения искателей.

7.3.3. Аппаратура и последовательность проведения ультразвукового контроля

Аппаратура для ультразвуковой диагностики состоит из дефектоскопа, набора искательных головок, тест-образцов для настройки и других вспомогательных приспособлений. В свою очередь дефектоскоп представляет собой совокупность функциональных блоков (рис. 7.15).

Согласно схеме, генератор синхронизирующих импульсов *11* вырабатывает импульсы для пуска генератора зондирующих импульсов *4* и генератора развертки *10*. Импульсы высокочастотных колебаний от генератора *4* подаются на пьезоэлемент искателя *3*, который преобразует их в механические ультразвуковые колебания. Эти колебания вводятся через слой контактной жидкости в объект контроля *1*.

Часть ультразвуковой энергии отражается от границы объекта или дефекта, возвращается к пьезоэлементу и преобразуется после усилителя в электрическую энергию высокой частоты *5*. Затем она передается на ЭЛТ *8* дефектоскопа и на блок *6* автоматической сигнализации дефекта (АСД). Синхронно с зондирующими импульсами на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ подается напряжение от генератора развертки *10*. На экране ЭЛТ появляется горизонтальная линия развертки с первым импульсом, называемым зондирующим. Второй импульс на линии развертки является эхо-

сигналом, который отражается от противоположной поверхности объекта (донный импульс). В случае, если объект имеет дефект, часть энергии, отразившись от дефекта, дает также импульс на линии развертки (см. рис. 7.15), который располагается между зондирующим и донным. Электронная лупа 7 служит для увеличения масштаба изображения участка контроля. Определив с помощью глубиномера 9 временной интервал между зондирующим импульсом и импульсом от дефекта можно определить глубину залегания дефекта по выражению:

$$l = 0,5ci,$$

где c – скорость звуковых колебаний в объекте, м/с; i – время прохождения импульса до дефекта и обратно, с.

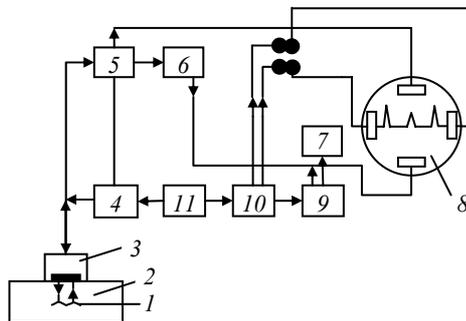


Рис. 7.15. Схема дефектоскопа:

- 1 – объект контроля; 2 – дефект; 3 – искатель;
 4 – генератор зондирующих импульсов; 5 – усилитель высокой частоты;
 6 – селектор автоматического сигнализатора; 7 – электронная лупа;
 8 – электронно-лучевая трубка; 9 – электронный глубиномер;
 10 – генератор развертки; 11 – генератор синхронизирующих импульсов

Важным элементом рассматриваемой схемы является искатель 3. Он состоит из корпуса, одного или двух пьезоэлементов, электродов, демпфера и разъема. Иногда искатели снабжаются устройствами для изменения угла наклона пьезопластины, подачи контактирующей жидкости и стабилизации давления на головку. В качестве контактной жидкости применяют автол, компрессорное, трансформаторное или другие аналогичные масла или жидкости специального состава. Ультразвуковая аппаратура снабжается набором стандартных испытательных образцов для настройки дефектоскопа перед контролем объекта.

При контроле ультразвуковыми методами особое внимание уделяют двум этапам:

1. Подготовка объекта и аппаратуры.
2. Выявление дефектов.

На первом этапе изучают соответствующую нормативно-техническую документацию, например, и техническую документацию на объект контроля. Делают внешний осмотр и необходимые замеры в соответствии с правилами визуального контроля, определяют ширину зоны зачистки поверхности объекта, устанавливают параметры контроля.

Рассмотрим наиболее важные элементы этапов контроля на примере ультразвуковой диагностики сварных соединений.

Размеры ширины зоны зачистки зависят от принятой схемы контроля и толщины свариваемых деталей. Например, для стыковых соединений часто применяют схемы контроля прямым и однократно отраженным лучом (рис. 7.16).

Ширина зоны зачистки составляет 80...250 мм при толщине свариваемых элементов до 60 мм. Подготовка аппаратуры для ультразвуковой диагностики имеет своей целью обеспечение надежности и объективности результатов контроля. Чтобы исключить субъективные факторы при проведении диагностики, необходимо создать стандартные условия. Одним из важных условий является настройка дефектоскопа по стандартным контрольным образцам, что может обеспечить соответствующую чувствительность ультразвукового метода. Под чувствительностью понимают минимальную площадь отражения в контрольном образце на определенном расстоянии от точки ввода волн в плоскости, перпендикулярной к направлению прозвучивания.

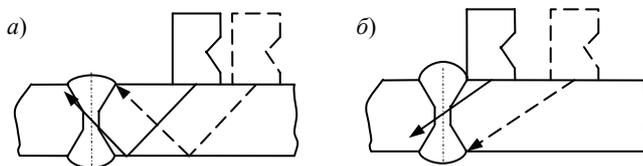


Рис. 7.16. Схемы контроля стыковых сварных соединений:

- а – прямым лучом; б – однократно отраженным лучом;
 1 – свариваемые элементы; 2 – шов; 3 – искатель

Выявление дефектов производят путем перемещения искательной головки по зачищенной зоне поверхности объекта контроля. Эту операцию (сканирование) выполняют по заранее выбранной схеме в соответствии с техническими условиями и учетом опыта диагностирования аналогичных объектов. В работах приведены методики ультразвуковой диагностики конкретных объектов и расчетные зависимости для реализации этого метода неразрушающего контроля.

7.4. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

7.4.1. Физические основы магнитных методов

Магнитные методы используют для диагностики объектов из ферромагнитных материалов, которые под действием внешнего магнитного поля значительно изменяют свои магнитные характеристики. Данные методы позволяют обнаруживать усталостные, шлифовочные, закалочные трещины и другие дефекты на поверхности объекта контроля, а в сварных

швах – непровары, шлаковые включения, поры и т.д. Магнитные методы контроля основаны на регистрации и анализе магнитных полей рассеяния, возникающих в местах расположения дефектов. Эти методы классифицируют по способам регистрации магнитных полей. На практике наибольшее применение нашли два: магнитопорошковый и магнитографический.

Их использование основано на свойствах ферромагнитных материалов реагировать на внешнее магнитное поле. Такой материал без влияния на него магнитного поля состоит из самопроизвольно намагниченных областей-доменов, поля которых компенсируют друг друга, и суммарное магнитное поле равно нулю. Под действием внешнего магнитного поля домены ориентируются в направлении действия этого поля и изделие из такого материала намагничивается. Намагничивающее поле характеризуется напряженностью и индукцией. Если объект контроля поместить в магнитное поле и усилить его напряженность, то индукция самого материала объекта будет расти сначала быстро, затем медленнее и, наконец, прекращается – наступает насыщение. Если снять напряженность намагничивающего поля, то в материале объекта будет иметь место остаточная индукция (остаточная намагниченность материала).

Если намагничиваемый материал сплошной, то магнитный поток в нем распространяется по сечению равномерно. Если же материал объекта имеет несплошности (трещины, посторонние включения и т.п.), то такие дефекты оказывают магнитному потоку большее сопротивление, чем сам материал. Магнитный поток в этом случае как бы обтекает дефект, поле сгущается и частично выходит за границы объекта, распространяясь по воздуху, и затем входит в материал за пределами дефекта (рис. 7.17). Над дефектом магнитное поле называется полем рассеяния. Поле рассеяния проявляется максимально, если дефект расположен перпендикулярно направлению магнитного потока.

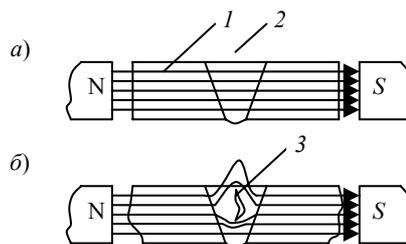


Рис. 7.17. Распределение магнитного потока в свариваемых деталях:
а – без дефекта; *б* – с дефектом;
 1 – свариваемый материал; 2 – сварной шов; 3 – дефект

Чтобы обнаружить дефект, необходимо использовать способы визуализации и фиксирования поля рассеяния. Таковыми способами являются магнитопорошковый и магнитографический, которые чаще всего применяются при магнитных методах неразрушающего контроля.

7.4.2. Магнитопорошковый метод

Поля рассеяния, образующиеся над местами расположения дефектов, можно обнаружить с помощью порошков. Такие порошки состоят из ферромагнитных частиц, которые, попадая в неоднородное магнитное поле, сосредотачиваются в тех местах, где его силовые линии сгущаются, т.е. по краям дефектов или над дефектами. Намагниченные частицы порошка притягиваются друг к другу, образуя цепочки по магнитным силовым линиям поля рассеяния.

Размеры частиц порошков находятся в пределах 0,1...60 мкм. Порошки получают термическим разложением пентакарбонила железа, размельчением окалины железа, окислением магнетита. В зависимости от цвета контролируемого объекта для лучшей визуализации дефекта используют порошки черного, кирпично-красного цвета и магнитно-люминесцентные.

В зависимости от способа нанесения порошка различают сухой и мокрый методы магнитопорошковой дефектоскопии. Сухой способ реализуется напылением порошка с помощью специального пульверизатора или сита. Мокрый способ основан на применении суспензий или паст: порошок – жидкость. В качестве жидкости используют воду, керосин, масло.

Для намагничивания объекта контроля используют постоянные магниты, электромагниты, а также пропускание через проводник или объект электрического тока (постоянного или переменного). При этом контроль проводят в приложенном поле или остаточного намагничивания.

Для реализации магнитопорошкового метода применяют стационарные, передвижные и переносные дефектоскопы, характеристики которых приведены в работах. Магнитопорошковым методом можно обнаружить дефекты с раскрытием на поверхности до 1 мкм и глубиной более 10 мкм. При магнитопорошковом методе осмотр объекта производят невооруженным глазом. Если используют магнитно-люминесцентные порошки, то для освещения объекта применяют ртутно-кварцевые лампы. Освещенность мест контроля должна быть не ниже 1000 лк.

По окончании магнитопорошкового контроля производят размагничивание объекта, так как намагниченность может вызвать нежелательные последствия: ускорение износа деталей из-за притягивания ферромагнитных частиц, снижение чистоты обработки из-за налипания стружки к резцу и т.п.

7.4.3. Магнитографический метод

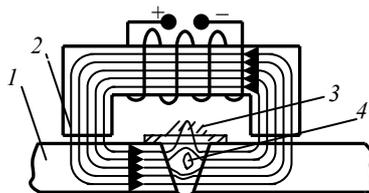
Суть магнитографического метода заключается в том, что магнитные поля рассеяния от дефектов регистрируются с помощью магнитной ленты. Затем эта запись на ленте преобразуется в сигналы, которые считываются и становятся видны на экране электронно-лучевой трубки. Порядок проведения контроля магнитографическим методом следующий: очистка поверхности объекта, укладка предварительно размагниченной ленты на подготовленную поверхность, намагничивание контролируемого участка, считывание информации с ленты дефектоскопом. На рис. 7.18 в качестве примера приведена схема контроля сварного шва.

Для данного вида контроля используют обычную серийно выпускаемую ленту, а также специальную двухслойную. В последнем случае при записи слабые поля рассеяния фиксируются в верхнем слое, а сильные – в нижнем, что объясня-

ются различными свойствами порошков в слоях ленты. Электромагнит питается от источника постоянного тока напряжением 50...60 В при силе тока 40...50 А. В качестве считывающего устройства в дефектоскопе используют вращающиеся магнитные головки. Сигнал, считанный головками с ленты, усиливается, преобразуется и передается на электронно-лучевую трубку для анализа.

Рис. 7.18. Схема проведения магнитографического контроля сварного шва:

- 1 – свариваемое изделие;
2 – электромагнит;
3 – магнитная лента; 4 – дефект



7.5. КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Данные методы контроля используют для выявления таких дефектов, как микротрещины и трещины, выходящие на поверхность объекта, поверхностные поры и непровары сварных швов. Перечисленные дефекты по своим физическим свойствам являются капиллярами, поэтому эти методы контроля называются капиллярными.

Капиллярная дефектоскопия основана на изменении контрастностей изображения дефектов и фона, на котором они выявляются с помощью специальных свето- и цветовых контрастных индикаторных жидкостей (пенетрантов). Пенетранты наносят на предварительно очищенную поверхность объекта контроля. Затем некоторое время выдерживают, чтобы пенетрант проник в полости дефекта. После этого избыток пенетранта удаляют и наносят проявляющий состав (проявитель). Пенетрант, оставшийся в дефектах, образует на фоне проявителя рисунок, по которому судят о наличии дефектов и их поверхностных размерах.

Эффективность капиллярного метода контроля зависит от проникающей способности пенетранта и извлечения его из дефекта проявителем.

Проникающая способность пенетранта зависит от адгезионных сил взаимодействия его молекул с молекулами поверхности дефектов и их размеров.

Процесс извлечения пенетранта связан с диффузией его из дефекта и сорбцией проявителем. Проявитель может применяться в виде порошка или суспензии, частицы которых также образуют систему мелких капилляров. Проявитель подбирается так, чтобы адгезионные силы взаимодействия его молекул с молекулами пенетранта были больше удерживающих сил пенетранта в капиллярах дефекта. В зависимости от свойств пенетранта и проявителя различают три метода капиллярного контроля: люминесцентный, цветной (метод красок) и люминесцентно-цветной.

Для люминесцентного характерно то, что в состав пенетрантов вводят вещества, которые при естественном освещении или облучении ультрафиолетовыми лучами становятся источниками излучения яркого свечения. Такие вещества называются люминофорами.

Метод красок основан на использовании пенетрантов, в состав которых входят специальные красители. В качестве примера можно привести следующий состав: 800 мл осветленного керосина, 200 мл скипидара марки А, 15 г темно-красного красителя «Судан-4», 750 мл дистиллированной воды, 250 мл этилового спирта марки А, 25 г химически чистого азотно-кислого натрия, 20 г эмульгатора ЭП-10 и 20 г красителя «Радомин-С». В качестве проявителя используют следующий состав: 600 мл гидролизного спирта, 400 мл воды и 300 г каолина.

Люминесцентно-цветной метод является сочетанием двух рассмотренных выше методов и отличается лишь тем, что пенетрант люминесцирует не только в ультрафиолетовых лучах, но и при обычном освещении. Этот метод отличается высокой чувствительностью, но для его применения контролируемые поверхности должны иметь чистоту обработки не ниже пятого класса.

Следует отметить, что для любого из перечисленных методов, с целью интенсификации процесса заполнения полости дефекта, используют вакуумирование, ультразвук и т.д.

7.6. ВЫБОР МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Кроме рассмотренных выше методов неразрушающего контроля, существуют и другие: вихретоковые, радиоволновые, электрические, оптические, тепловые, течеискания, и вибрационные. Кроме того, используют для диагностики и разрушающие методы, например, сверление стенки емкостного аппарата с последующим замером ее толщины и заваркой места засверловки. Для диагностики химического оборудования чаще всего используют методы, которые были рассмотрены выше.

Выбор метода контроля зависит от многих факторов: его чувствительности и разрешающей способности, характеристики диагностируемого оборудования, типа дефектов и многих других факторов. Например, дефекты сварных швов эффективно выявляются в сочетании радиографического метода с ультразвуковым. Часто завершающими методами контроля емкостного оборудования и трубопроводов на прочность и плотность являются гидравлические и пневматические испытания.

Трудно дать однозначную рекомендацию по выбору метода, так как необходимо учитывать не только особенности объекта контроля, но и наличие диагностических средств у данного предприятия, условия проведения контроля и т.д. Как правило, используют совокупность нескольких методов контроля, и эта совокупность является составной частью экспертизы, которой периодически должно подвергаться химическое оборудование в целях его безопасной эксплуатации.

Экспертиза оборудования проводится в соответствии с требованиями нормативных документов Ростехнадзора. Для ее проведения составляется соответствующая программа. В соответствии с этой программой проводятся следующие мероприятия: 1) анализ технической документации на оборудование; 2) функциональная диагностика: визуально-измерительный контроль; ультразвуковая толщинометрия и другие методы неразрушающего контроля; испытания на прочность и плотность; 3) расчет на прочность; 4) анализ результатов диагностирования; 5) определение остаточного ресурса; 6) выводы и рекомендации по безопасной эксплуатации оборудования.

7.7. ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Для обеспечения надежной эксплуатации оборудования необходимо знать остаточное время его работы (остаточный ресурс). Основой для определения остаточного ресурса являются результаты технического диагностирования и анализ условий его эксплуатации. Заключение, которое готовится по результатам диагностирования оборудования, должно содержать указания по допустимому сроку безопасной эксплуатации его или гарантированный остаточный ресурс. Этот ресурс должен определяться по самому неблагоприятному режиму предстоящей эксплуатации. Если остаточное время работы оборудования определяют параллельно по нескольким критериям (коррозии, циклическим нагрузкам, изменению механических характеристик конструкционного материала и т.д.), то остаточный ресурс берется по тому критерию, который дает наименьшее значение остаточного времени. Следует отметить, что если расчетный остаточный ресурс превышает 10 лет, то его принимают равным 10 годам.

7.7.1. Прогнозирование ресурса оборудования, подвергающегося коррозии или эрозии

Расчет ресурса по данному критерию ведется по следующей зависимости:

$$T_{к(э)} = (S_{\phi} - S_p) / a,$$

где S_{ϕ} – фактическая минимальная толщина стенки, мм; S_p – расчетная толщина стенки, мм; a – скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год.

Величина a определяется по следующим зависимостям. Если имеется одно измерение контролируемого параметра $S_{\phi}(t_1)$, полученное при обследовании оборудования, то

$$a = (S_n + C_0 - S_{\phi}) / t_1,$$

где S_n – исполнительная толщина стенки, мм; C_0 – плюсовой допуск на толщину стенки, мм; t_1 – время от момента начала эксплуатации до момента обследования, лет.

В том случае, если при очередном обследовании оборудования имеются два измерения контролируемого параметра $S_{\phi}(t_2)$ и $S_{\phi}(t_1)$, то скорость коррозии определяют по выражению:

$$a = [S_{\phi}(t_2) - S_{\phi}(t_1)] / [(t_2 - t_1)] \times K_1 \times K_2,$$

где $S_{\phi}(t_1)$ и $S_{\phi}(t_2)$ – фактическая толщина стенки при первом и втором обследовании; t_1 и t_2 – значение времени от начала эксплуатации оборудования до момента первого и второго обследования, соответственно, лет; K_1 – коэффициент, учитывающий отличие средней ожидаемой скорости коррозии (эрозии) от гарантированной скорости с доверительной вероятностью

$\gamma = 0,7 \dots 0,95$; K_2 – коэффициент, учитывающий погрешность определения скорости коррозии (эрозии) по линейному закону в отличие от скорости, рассчитанной по более точным нелинейным законам изменения контролируемого параметра.

Коэффициенты K_1 и K_2 выбираются на основе анализа результатов расчета скорости коррозии (эрозии) для аналогичного оборудования. Если отсутствуют данные такого анализа, то принимают $K_1 = 0,5 \dots 0,75$ и $K_2 = 0,75 \dots 1$.

При этом большие значения коэффициентов принимают при незначительной фактической коррозии (эрозии) – менее 0,1 мм/год.

7.7.2. Прогнозирование ресурса оборудования, работающего при циклических нагрузках

При прогнозировании ресурса аппаратов с малоциклическими нагрузками (до 5×10^5 циклов) для определения допустимого числа циклов нагружения необходимо руководствоваться ГОСТ 25859 и ОСТ 26-1046-87. В том случае, когда аппарат работает в условиях многоциклового нагружения (более 5×10^5 циклов), то допустимое количество циклов нагружения может быть определено с помощью зависимостей, приведенных в нормах расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных электростанций ПНАЭ Г-7-002-86.

Ресурс циклической работоспособности сосуда определяется [14] по выражению:

$$T_{ц} = T_3 \times [N] / N_s,$$

где T_3 – время работы аппарата с момента его пуска, лет; $[N]$ – допустимое количество циклов нагружения; N_s – количество циклов нагружения за период эксплуатации.

При определении $[N]$ используются минимальные значения толщины стенок элементов сосудов S_{ϕ} , определенные при толщинометрии с учетом прибавки на коррозию на момент исчерпания ресурса циклической работоспособности сосуда $T_{ц}$. Остаточный ресурс определяется по выражению:

$$T_{ост} = T_{ц} - T_3.$$

Следует отметить, что если ресурс, рассчитанный по данным формулам, оказался исчерпанным, то необходимо провести диагностику этого оборудования и подвергнуть 100 %-ному контролю места концентраторов и сварных швов. Если при этом не обнаружено растрескивания, то такое оборудование может быть допущено к дальнейшей эксплуатации при регулярной технической диагностике указанных мест. Такая диагностика должна проводиться через промежутки времени, за которые число циклов нагружения сосуда не превосходит $0,1[N]$. Интервалы времени между диагностическими контролями могут быть увеличены. Для этого проводят стандартные испытания (ГОСТ 1497-90, ГОСТ 9651, ГОСТ 111-50-90) с целью определения статических механических характеристик материала оборудования. На основе анализа этих механических характеристик допустимое число циклов нагружения для дальнейшей эксплуатации оборудования определяется по методике, изложенной в ГОСТ 25859-83.

Механические характеристики конструкционного материала определяются по образцам, вырезанным из корпуса оборудования. Определенный при этом ресурс циклической долговечности может быть распространен на аппараты,

имеющие однотипную конструкцию, изготовленные из одного конструкционного материала и эксплуатируемые в одинаковых условиях.

7.7.3. Прогнозирование ресурса по изменению механических характеристик металла

Часто при эксплуатации оборудования происходит снижение механических характеристик металла оборудования. Состояние механических свойств конструкционного материала оборудования может быть определено путем испытания образцов, изготовленных из контрольных вырезов или путем замера твердости металла (ГОСТ 1497–90, ГОСТ 9651, ГОСТ 111-50–90).

Если снижение механических свойств оказалось менее 5 % от норматива, то все расчеты отбраковочных размеров или количества циклов нагружения проводят по фактическим механическим свойствам материала.

В случае снижения механических свойств металла более 5 % от нормативных определяют скорость снижения механических свойств аналогично определению скорости коррозии по методическим указаниям и путем экстраполяции определяют механические свойства материала к концу ожидаемого периода эксплуатации, а затем и остаточный ресурс.

7.7.4. Определение остаточного ресурса оборудования в условиях ползучести конструкционного материала

Для оборудования, работающего в условиях повышенной температуры, необходимо определять остаточный ресурс с учетом ползучести материала (длительности прочности). Значение температуры, при которой необходимо учитывать ползучесть, следующее: 380 °С и выше – для углеродистых сталей; 420 °С и выше – для низколегированных сталей; 525 °С

и выше – для аустенитных сталей. В этом случае в расчетах на прочность допускаемое напряжение определяется по пределу длительной прочности или 1 % предела ползучести для заданного срока эксплуатации (10^5 часов).

Предел длительной прочности (1 % предела ползучести) или допускаемое напряжение для планируемого срока службы определяется по ГОСТ 14249–89, ОСТ 108.31.08–85, ПНАЭ Г-7-002–86.

Для отмеченных выше условий остаточный ресурс оборудования, работающего при непрерывном режиме нагружения, определяется по формуле:

$$T = (S_{\phi} - S_p) / a,$$

где S_{ϕ} – фактическая минимальная толщина стенки, мм; S_p – расчетная толщина стенки, определенная по допускаемым напряжениям, учитывающим предел длительной прочности материала (1 % предела ползучести), мм; a – скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год.

Величина a определяется по зависимостям, которые были приведены выше.

В случае, когда выявлена остаточная деформация ползучести при очередном диагностировании (не более чем через 4 года) для фиксированного размера диаметра сосуда или другого размера в кольцевом направлении в местах с наиболее высокой температурой, общий ресурс сосуда может быть определен по следующей зависимости:

$$T_n = 1/a_n,$$

где a_n – скорость установившейся ползучести, % / год.

Остаточный ресурс сосуда в этом случае определяется по формуле:

$$T_{\text{ост}} = T_n - T_3,$$

где T_3 – продолжительность эксплуатации оборудования от начала до последнего обследования.

Величина скорости установившейся ползучести определяется по формуле:

$$a_n = 100[L_{\phi}(t_1) - L_{\phi}(t_2)] / L_{\phi}(t_1) \times \Delta t \times K_1 \times K_2,$$

где $L_{\phi}(t_1)$, $L_{\phi}(t_2)$ – фактические размеры диаметра сосуда или другого фиксированного линейного размера в кольцевом направлении при первом и втором обследованиях, соответственно, мм; Δt – время между первым и вторым обследованиями, лет; K_1 – коэффициент, учитывающий отличие средней ожидаемой скорости ползучести от гарантированной скорости ползучести с доверительной вероятностью $\gamma = 0,7 \dots 0,95$; K_2 – коэффициент, учитывающий погрешность определения скорости ползучести.

Значения коэффициентов K_1 и K_2 следует принимать в пределах: $K_1 = 0,5 \dots 0,75$; $K_2 = 0,75 \dots 1,0$. При этом большие значения коэффициентов принимают при незначительной скорости ползучести (менее 0,05 % в год) и при общей остаточной деформации менее 0,5 %.

Для определения скорости ползучести следует пользоваться рекомендациями, изложенными в РД 03-421-01 «Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов».

7.7.5. Прогнозирование ресурса по критерию хрупкого разрушения материала оборудования

Это прогнозирование проводится в следующих случаях:

– минимальная температура стенки аппарата при эксплуатации или гидроиспытаниях может быть меньше предусмотренной для конструкционного материала в правилах устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 10-115–96);

– сталь или сварные соединения при эксплуатации или испытаниях имеют ударную вязкость ниже значений, предусмотренных правилами ПБ 10-115–96);

– при диагностике оборудования обнаружены дефекты, превышающие нормы, установленные правилами ПБ 03-384–00 и ОСТ 24.201.03–90;

– при диагностировании оборудования выявлены трещины, которые были заварены и проверены вновь на отсутствие дефектов.

В этих случаях условие сопротивления хрупкому разрушению проверяется выполнением соотношения:

$$K_1 \leq [K_1],$$

где K_1 – коэффициент интенсивности напряжений; $[K_1]$ – допустимый коэффициент интенсивности напряжений. Для определения коэффициента интенсивности напряжений K_1 используют методику, изложенную в правилах ПНАЭ Г-7-002–86. Допустимый коэффициент интенсивности напряжений $[K_1]$ определяется по формуле:

$$[K_1] = K_{1кр} / n_k,$$

где $K_{1кр}$ – критический коэффициент интенсивности напряжений; n_k – коэффициент запаса прочности по трещиностойкости. Для условий эксплуатации $n_k = 2$; для условий испытаний $n_k = 1,5$.

Критический коэффициент интенсивности напряжений $K_{1кр}$ может определяться на основании результатов испытания конструкционного материала на хрупкое разрушение в соответствии с требованиями ГОСТ 25.506–85. В случае невозможности проведения таких испытаний можно его определять по правилам ПНАЭ Г-7-002–86. При этом за критическую температуру хрупкости материала следует принимать минимальную температуру применения сталей по правилам ПБ 03-384–00 и ОСТ 24.201.03–90.

Остаточный ресурс по критерию хрупкого разрушения конструкционного материала оборудования определяется в зависимости от первоначального расчетного срока $T_{пр}$, от объема контроля при техническом диагностировании и от вероятности хрупкого разрушения по выражению:

$$T_{хр} = b \times T_{пр},$$

где b – коэффициент, определяемый по графику, приведенному в РД 03-421–01 «Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роздин, И.А. Безопасность производства и труда на химических предприятиях / И.А. Роздин, Е.И. Хабарова, О.Н. Вареник. – М. : Химия, КолосС, 2006. – 254 с.
2. Фомочкин, А.В. Производственная безопасность / А.В. Фомочкин. – М. : ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. – 448 с.
3. Поникаров, И.И. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки : учебник / И.И. Поникаров, М.Г. Гайнулин. – М. : Альфа-М, 2006. – 608 с.
4. Машины и аппараты химических производств : учеб. пособие для вузов / А.С. Тимонин, Б.Г. Балдин, В.Я. Борщев [и др.] ; под общ. ред. А.С. Тимониной. – Калуга : Изд-во Н.Ф. Бочкаревой, 2008. – 872 с.
5. Смирнов, Г.Г. Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств / Г.Г. Смирнов, А.Р. Толчинский, Т.Ф. Кондратьева ; под общ. ред. А.Р. Толчинского. – Л. : Машиностроение : Ленингр. отделение, 1988. – 303 с.
6. Гуревич, Д.Ф. Трубопроводная арматура : справочное пособие / Д.Ф. Гуревич. – 3-е изд. – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – 368 с.
7. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / под ред. В.В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2005. – 490 с.
8. Кормильцин, Г.С. Основы диагностики и ремонта химического оборудования : учеб. пособие / Г.С. Кормильцин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 120 с.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	4
1.1. Основные понятия о машинах и аппаратах химических и смежных производств	4
1.2. Основные правила безопасной эксплуатации технологического оборудования	5
1.3. Декларирование промышленной безопасности производственных объектов	14
2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	17
2.1. Герметизация технологического оборудования	17
2.2. Защитные ограждения и устройства для обслуживания аппаратов	23
3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	23
3.1. Основные понятия	23
3.2. Требования к электрооборудованию для аппаратов химических производств	24
3.3. Заземление и защитные меры по обеспечению электробезопасности	25
3.4. Защита от статического электричества	28
4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	31
4.1. Технологические мероприятия по снижению опасности взрыва	32
4.2. Ограничение и подавление взрывов	33
5. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА	39
5.1. Классификация предохранительной арматуры	39
5.2. Рекомендации по выбору предохранительных устройств	47
5.3. Расчет предохранительного клапана по пропускной способности	48
5.4. Расчет предохранительных мембран на заданное давление срабатывания	49
6. ЗАЩИТНАЯ АРМАТУРА	53
7. ДИАГНОСТИКА – ОСНОВА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ	54
7.1. Визуально-оптический контроль	54
7.2. Радиационные методы неразрушающего контроля	57
7.3. Акустические методы неразрушающего контроля	63
7.4. Магнитные методы неразрушающего контроля	69
7.5. Капиллярные методы неразрушающего контроля	71
7.6. Выбор метода диагностики оборудования	72
7.7. Основы определения остаточного ресурса работы оборудования	73
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	79