

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

**В.Я. Борщев, Г.С. Кормильцин,
М.А. Промтов, А.С. Тимонин**

ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию
в области химической технологии и биотехнологии
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы
в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2011

УДК 66.001
ББК Л11-5-08я73К66
О-753

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой «Технологические процессы и аппараты»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
Н.Ц. Гатапова

Кандидат технических наук, доцент
председатель научно-технического совета ОАО «Завод "Комсомолец"
им. Н.С. Артёмова», главный инженер
В.А. Бозуш

О-753 Основы безопасной эксплуатации технологического обо-
рудования химических производств : учебное пособие /
В.Я. Борщев, Г.С. Кормильцин, М.А. Промтов, А.С. Тимонин. –
Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 188 с. – 100 экз.
ISBN 978-5-8265-1051-3

Рассмотрены основы безопасной эксплуатации и современные
методы диагностики оборудования химических производств.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обу-
чающихся по направлению подготовки «Энерго- и ресурсосберегаю-
щие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехноло-
гии», а также может быть полезно при реализации магистерских про-
грамм соответствующих направлений и инженерно-техническим
работникам предприятий химической и нефтехимической промыш-
ленности.

УДК 66.001
ББК Л11-5-08я73К66

ISBN 978-5-8265-1051-3

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Тамбовский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2011

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 необходимо отметить Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 года 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 технологического оборудования химических и смежных производств, технологического оборудования, предназначенного для предотвращения аварий на технических объектах, основы диагностики технологического оборудования опасных производственных объектов.

Учебное пособие соответствует требованиям к уровню подготовки студентов, изложенных в государственном образовательном стандарте по направлениям 280700 «Техносферная безопасность» и 241000 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

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

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МАШИНАХ И АППАРАТАХ ХИМИЧЕСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Классификация оборудования – это научно обоснованное распределение машин и аппаратов по отдельным группам на основе определённых признаков, важнейшими из которых для химического оборудования являются: производственное назначение, проводимый в машинах или аппаратах процесс, функциональное назначение, принцип организации технологического процесса, степень автоматизации и т.д.

Оборудование химического производства в зависимости от его производственного назначения подразделяют на следующие классы: технологическое, энергетическое, транспортное, ремонтное, грузоподъёмное и вспомогательное. В данном учебном пособии рассматриваются основы безопасной эксплуатации основного технологического и вспомогательного оборудования химических производств.

Технологическое оборудование предназначено для реализации различных технологических процессов производства.

Технологическое оборудование по характеру протекающих в нём процессов подразделяется на следующие классы: оборудование для механических процессов; оборудование для гидромеханических процессов; оборудование для тепловых процессов; оборудование для массообменных процессов; оборудование для химических процессов.

Внутри каждого класса оборудование по функциональному назначению подразделяется на группы.

Оборудование для механических процессов по функциональному назначению подразделяется на грохоты, классификаторы, дробилки, мельницы, смесители, питатели, дозаторы.

К оборудованию для гидромеханических процессов относятся отстойники, центрифуги, сепараторы, гидроциклоны, скрубберы, фильтры, электрофильтры, аппараты для механического и циркуляционного перемешивания жидких сред и т.д.

Оборудование для тепловых процессов включает в себя рекуперативные, регенеративные и контактные теплообменники, тепловые трубы, тепловые печи, плазматроны, а также выпарные и кристаллизационные аппараты.

К оборудованию для массообменных процессов относятся абсорбционные и ректификационные колонны, экстракционные аппараты, ад-

сорберы, ионообменные аппараты, аппараты для баромембранных и диффузионных процессов, сушилки, аппараты для растворения и выщелачивания и др.

К оборудованию для проведения химических процессов относятся химические реакторы и печи для осуществления химических процессов и др.

Кроме того, каждая группа оборудования подразделяется на типы, а типы – на типоразмеры.

Вспомогательное оборудование предназначено для реализации в нём вспомогательных процессов производства, в частности, хранения и транспортировки жидкостей, сжиженных газов, паров и газов, сыпучих материалов в требуемом для технологического процесса направлении. К вспомогательному оборудованию химических производств относятся: насосы и компрессоры, резервуары для хранения жидкостей и сжиженных газов, газгольдеры, бункеры и силосы для сыпучих материалов и др.

Технологическое оборудование по характеру воздействия на сырьё или полуфабрикаты может быть разделено на аппараты и машины.

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

Машина – механическое устройство, состоящее из согласованно работающих частей и осуществляющее определённые 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.

Аппаратом называют инженерное сооружение, несущее в себе реакционное пространство (рабочий объём) и снабжённое энергетическими и контрольно-измерительными средствами ведения и управления технологическим процессом.

Реакционное пространство (рабочий объём) – пространство, в котором осуществляется технологический процесс. В аппаратах осуществляются тепловые, электрические, физико-химические и другие воздействия. При этом происходит изменение физических или химических свойств или агрегатного состояния обрабатываемого продукта.

В случае если проведение технологического процесса сопровождается вводом в рабочий объём механической энергии за счёт рабочих органов оборудования, то такой аппарат называется машиной.

Машины и аппараты по принципу организации технологического процесса подразделяются на оборудование непрерывного и периодического действия.

Машины и аппараты непрерывного действия характеризуются тем, что основные стадии (операции) технологического процесса осуществляются в разных рабочих объёмах оборудования, но в одно и то же время. Как правило, машины и аппараты непрерывного действия менее металло- и энергоёмки, отличаются простотой конструкции и высокой удельной производительностью.

В машинах и аппаратах периодического действия основные стадии (операции) технологического процесса осуществляются в одном и том же рабочем объёме, но в разное время. Основное достоинство оборудования периодического действия – большая технологическая гибкость, т.е. возможность быстрого перехода с одного вида продукции на другой с минимальными затратами времени без снижения качества продукции.

По степени автоматизации технологические машины можно разделить на следующие группы:

– простые – машины, с помощью которых человек-оператор совершает заданные технологические операции по регламенту, инструкции или программе, которую «держит в голове»;

– полуавтоматические (автоматизированные) – машины, которые выполняют основные технологические операции согласно заложенной в них программе без непосредственного участия оператора, в функции которого входят лишь загрузка, разгрузка, контроль и регулирование машины;

– автоматические – машины, выполняющие после загрузки и выключения все рабочие операции по заданной программе без участия оператора (машина-автомат).

Если машина-автомат обладает способностью производить логические операции, вырабатывать и осуществлять в соответствии со своим целевым назначением программу действия с учётом переменных условий протекания технологического процесса, то она называется самонастраивающейся.

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

Эффективность и современный технический уровень машин и аппаратов химических производств, как и любого другого вида промышленной продукции, определяются группами показателей качества, характеризующими основные свойства оборудования (ГОСТ 22851). Показатели качества являются важным элементом, формирующим требования к конструкции машин и аппаратов.

Стандарт устанавливает следующую номенклатуру основных групп показателей качества.

1. *Показатели назначения*, характеризующие свойства оборудования, определяющие основные функции, для выполнения которых оно предназначено (производительность, энергозатраты, скорости рабочих органов, мощность, усилия и др.).

2. *Показатели надёжности*, характеризующие свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

3. *Эргономические показатели* характеризуют систему «человек–изделие» и учитывают комплекс гигиенических, антропометрических, биомеханических, физиологических и психологических свойств человека, проявляющихся в производственных условиях.

4. *Эстетические показатели* характеризуют информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции и совершенство производственного исполнения оборудования.

5. *Показатели технологичности* характеризуют свойства оборудования, обуславливающие оптимальные затраты материалов, средств труда и времени при изготовлении данного оборудования.

6. *Показатели транспортабельности* характеризуют приспособленность оборудования к перемещению в пространстве. Такими

показателями являются, в частности, средние продолжительность и трудоёмкость подготовки оборудования к транспортированию, средняя продолжительность установки изделия на средство транспортирования, коэффициент использования его объёма и др.

7. *Показатели стандартизации и унификации* характеризуют насыщенность оборудования стандартными, унифицированными и оригинальными элементами, отражают степень использования стандартных и однотипных узлов и деталей в данном изделии.

8. *Патентно-правовые показатели* характеризуют степень обновления технических решений, использованных во вновь спроектированном оборудовании, их патентную защиту, а также возможность его беспрепятственной реализации в России и за рубежом.

9. *Экологические показатели* определяют уровень вредных воздействий на окружающую среду при эксплуатации оборудования. К таким показателям относятся, например, содержание вредных примесей, выбрасываемых в окружающую среду, вероятность выброса вредных частиц, газов, излучений при хранении, транспортировании, эксплуатации оборудования и т.д.

10. *Показатели безопасности* характеризуют особенности оборудования, обуславливающие безопасность обслуживающего персонала при транспортировании, монтаже, эксплуатации, хранении – это, например, вероятность безотказной работы, время срабатывания защитных устройств и ряд других показателей.

В зависимости от стадии определения различают показатели качества прогнозируемые, т.е. указанные в техническом задании на проектирование оборудования; проектные, т.е. найденные в результате проведения расчётно-конструкторских работ; производственные, т.е. полученные при контрольных испытаниях оборудования, и эксплуатационные, т.е. соответствующие условиям эксплуатации оборудования на конкретных предприятиях.

При конструировании химического оборудования следует учитывать специфику его эксплуатации и, в первую очередь, коррозионное воздействие среды на его элементы. В зависимости от вида оборудования и его функций коррозионное воздействие на узлы и детали машин может сочетаться с большими механическими нагрузками и высокими температурами. Необходимо учитывать также и то, что в ряде случаев крупногабаритное химическое оборудование (дробилки, печи и др.) может быть установлено на открытых площадках и подвергаться атмосферному воздействию.

Существенным является учёт зоны дислокации оборудования, что отражается в первую очередь на выборе конструкционных материалов, смазочных системах, защитных покрытиях и т.п. Исполнение оборудования, приборов и других технических изделий, а также категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздей-

ствия климатических факторов внешней среды устанавливает ГОСТ 15150. Стандартом руководствуются при проектировании и изготовлении изделий, в частности при составлении технических заданий, разработке ГОСТов и ТУ на новые изделия.

Воздействующими климатическими факторами внешней среды являются её температура и перепады температур, влажность и давление воздуха, влияние солнечного излучения и дождя, ветра, пыли, озона, абразивное воздействие снежной пыли, действие плесневых грибов, коррозионное воздействие соляного тумана и т.д.

Различают изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озёрах и в макроклиматических районах с морским климатом. ГОСТ устанавливает обозначения исполнений изделий. Так, например, У – для макроклиматического района с умеренным климатом; УХЛ – для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом; Т – для макроклиматических районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом («тропическое исполнение») и т.д. О – для всех макроклиматических районов на суше, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение). В – для изделий, предназначенных для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (всеклиматическое исполнение).

В зависимости от места размещения оборудования при его эксплуатации в воздушной среде на высотах до 4300 м различают категории исполнения изделий, например: 1 – для эксплуатации на открытом воздухе; 2 – для эксплуатации под навесом, в палатках, кузовах и т.п., т.е. при отсутствии прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков; 3 – для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий; 4 – то же, но с искусственно регулируемыми климатическими условиями; 5 – для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью.

Основные требования, предъявляемые к вновь разрабатываемым конструкциям машин и аппаратов химических производств, помимо учёта указанных показателей качества и характерных особенностей эксплуатации химического оборудования, должны учитывать основные тенденции развития отрасли. Эти требования сводятся к следующему:

1. Эффективность функционирования оборудования – оптимальная единичная мощность (производительность) с реализацией высокоинтенсивных, преимущественно непрерывных процессов, основанных на использовании новейших научных достижений, с полной механизацией и автоматизацией вспомогательных операций.

2. Механическая надёжность оборудования, включающая в себя:

- а) прочность – способность оборудования выдерживать рабочие нагрузки;

б) устойчивость – способность оборудования сохранять в рабочих условиях свою первоначальную форму;

в) жёсткость – способность оборудования сопротивляться деформациям;

г) долговечность – способность оборудования работать в течение заданного срока;

д) герметичность – обеспечение полного отсутствия контакта перерабатываемой среды с окружающей средой. Для обеспечения герметичности необходимо стремиться к минимуму разъёмных соединений.

3. Конструктивное совершенство:

а) простота конструкции;

б) малый вес и габариты;

в) низкие затраты дорогостоящих конструкционных материалов;

г) технологичность в изготовлении, эксплуатации и ремонте;

д) соответствие основным принципам технического дизайна и эргономики.

4. Эксплуатационные достоинства:

а) удобство монтажа, сборки и разборки узлов, ремонта и обслуживания;

б) возможность осуществления контроля технических параметров и автоматизации управления процессом;

в) безопасность при эксплуатации, обеспечение бесшумной и безвибрационной работы;

г) экологическое совершенство, т.е. отсутствие вредного воздействия на окружающую среду.

5. Транспортабельность, в частности, возможность транспортирования оборудования комплектно или отдельными блоками от завода-изготовителя к месту монтажа.

6. Патентная чистота, т.е. возможность беспрепятственной реализации оборудования внутри страны и за рубежом.

7. Экономическая эффективность – новое изделие должно по своим технико-экономическим показателям превосходить аналогичные существующие лучшие образцы. Необходимость создания нового оборудования требует тщательного экономического обоснования на всех стадиях разработки и внедрения.

8. Соответствие требованиям стандартизации и унификации:

а) стандартизация – сведение многочисленных видов изделий к ограниченному числу образцов, наилучшим образом зарекомендовавших себя в процессе эксплуатации;

б) унификация – рациональное сокращение числа видов и типоразмеров изделий химического машиностроения с целью их использования в различных производствах для однотипных процессов.

9. Соответствие проектируемого оборудования действующей нормативно-технической документации.

Легко обнаружить, что перечисленные требования взаимосвязаны, причём в одних случаях их воздействия на определённые показатели качества проектируемого оборудования совпадают, в других – нет. Например, требования функциональной эффективности, технологичности, экономической эффективности однозначно связаны с рядом показателей качества: это относится и к соотношению требований надёжности и прочности; экологические требования в той их части, которая обеспечивается герметизацией оборудования, находятся в прямой корреляционной зависимости с требованиями безопасности оборудования при эксплуатации и т.п.

В конкурирующем соотношении по влиянию на экономическую эффективность находятся, например, требования прочности, жёсткости, устойчивости, с одной стороны, и минимальной материалоёмкости, экономической эффективности, с другой. Повышение прочности, жёсткости ведёт к увеличению материалоёмкости, и, поскольку стоимость оборудования в значительной мере зависит от стоимости материалов, пошедших на его изготовление, к увеличению капитальных затрат и, при прочих равных условиях, к снижению экономической эффективности. Использование при конструировании принципа равнопрочности, т.е. соблюдение требования, в соответствии с которым нагружаемые элементы имеют одинаковый запас надёжности по отношению к действующим на них нагрузкам, позволяет уменьшить их материалоёмкость. Однако при этом необходимо учитывать возможность уменьшения жёсткости деталей, а в ряде случаев усложнение их формы, что может затруднять технологию их изготовления. Другим примером противоречивости требований, предъявляемых к конструкции машин и аппаратов, является необходимость использования интенсивных режимов (нагрузок, температур, скоростей и пр.), что требует повышения материалоёмкости либо приводит к снижению надёжности.

Противоречивость требований, предъявляемых к конструкциям машин, выдвигает задачу поиска оптимального решения, при котором соотношение отдельных требований обеспечивает наибольшую эффективность оборудования.

1.2. ДЕКЛАРИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Федеральный закон № 116-ФЗ от 21.07.1997 года «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (Ст. 6, Гл. II) определяет виды деятельности в области промышленной безопасности. К этим видам относится эксплуатация, изготовление, монтаж, наладка, обслуживание и ремонт технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте. Одним из обязательных условий для принятия решения о выдаче лицензии на эксплуатацию явля-

ется представление декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта.

В приложениях к закону № 116-ФЗ указаны признаки опасных производственных объектов и предельные количества опасных веществ, наличие которых на производственном объекте является основанием для лицензирования и обязательной разработки декларации промышленной безопасности.

Опасными производственными объектами являются те, на которых:

1) получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются следующие опасные вещества:

а) воспламеняющиеся вещества – газы, которые при нормальном давлении и в смеси с воздухом становятся воспламеняющимися и температура кипения которых при нормальном давлении составляет 20 °С или ниже;

б) окисляющие вещества – вещества, поддерживающие горение, вызывающие воспламенение и(или) способствующие воспламенению других веществ в результате окислительно-восстановительной экзотермической реакции;

в) горючие вещества – жидкости, газы, пыли, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самопроизвольно гореть после его удаления;

г) взрывоопасные вещества – вещества, которые при определённых видах внешнего воздействия способны на очень быстрое самораспространяющееся химическое превращение с выделением тепла и образованием газов;

д) токсичные вещества – вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить их к гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок от 15 мг на 1 кг до 200 мг на 1 кг включительно;

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу от 50 мг на 1 кг до 400 мг на 1 кг включительно;

- средняя смертельная концентрация в воздухе от 0,5 мг на 1 л до 2 мг на 1 л включительно;

е) высокотоксичные вещества – вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить их к гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок не более 15 мг на 1 кг;

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу не более 50 мг на 1 кг;

- средняя смертельная концентрация в воздухе не более 0,5 мг на 1 л;

ж) вещества, представляющие опасность для окружающей среды – вещества, характеризующиеся в водной среде следующими показателями острой токсичности:

- средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 ч не более 10 мг на 1 л;
- средняя концентрация яда, вызывающая определённый эффект при воздействии на дафнии в течение 48 ч не более 10 мг на 1 л;
- средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 ч не более 10 мг на 1 л;

2) используется оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа или при температуре нагрева воды более 115 °С;

3) используются грузоподъёмные механизмы, эскалаторы, канатные дороги, фуникулёры;

4) получают расплавы чёрных и цветных металлов и сплавы на основе этих расплавов;

5) ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, а также работы в подземных условиях.

Как отмечалось выше, в приложении к рассматриваемому закону № 116-ФЗ дан список опасных веществ и их предельные количества, которые являются основанием для обязательной разработки декларации промышленной безопасности. При этом указывается, что в случае если расстояние между опасными производственными объектами при проектировании окажется менее 500 метров, тогда необходимо учитывать суммарное количество опасного вещества. Также если на предприятии применяется несколько видов опасных веществ одной и той же категории, то их суммарное пороговое количество определяется уравнением:

$$\left\{ \sum_{i=1}^{i=n} [m(i)] / [M(i)] \right\} \geq 1,$$

где $m(i)$ – количество применяемого вещества; $M(i)$ – пороговое количество того же вещества в соответствии с указанным перечнем приложения к закону №116-ФЗ для $i = 1 \dots n$.

Кроме указанного списка необходимо отметить «Перечень технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах и подлежащих сертификации».

Опасные производственные объекты подлежат регистрации в государственном реестре опасных производственных объектов (РД 03-294–99) и декларируются в соответствии с Положением о порядке оформления декларации промышленной безопасности (РД 03-315–99) и Правилами экспертизы декларации промышленной безопасности (ПБ 03-314–99).

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, нанесённого в случае аварии на опасном производственном объекте.

Перечень сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, и порядок её 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 Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор).

Декларация промышленной безопасности утверждается руководителем организации, эксплуатирующей опасный производственный объект. Он несёт 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, 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 расчёта, 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 должна содержаться:

- 1) обобщённая 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) сценария аварии на декларируемом объекте.

В Положении о порядке оформления декларации содержатся также «Дополнительные требования по оформлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта, аварии на котором создают угрозу возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера».

1.3. ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРНОМУ ОФОРМЛЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И РАЗМЕЩЕНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ

Выбор оборудования осуществляется в соответствии с исходными данными на проектирование, требованиями действующих нормативных документов и «Общих правил взрывобезопасности для взрыво- и пожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» ПБ 09-540–03. Исходя из категории взрывоопасности технологических блоков, входящих в технологическую систему, осуществляется выбор оборудования по показателям надёжности.

Для технологического оборудования и трубопроводной арматуры устанавливается допустимый срок службы с учётом конкретных условий эксплуатации. Данные о сроке службы должны приводиться изготовителем в паспортах оборудования и трубопроводной арматуры. Для трубопроводов проектной организацией устанавливается расчётный срок эксплуатации, что должно быть отражено в проектной документации и внесено в паспорт трубопроводов.

Продление срока безопасной эксплуатации технологического оборудования, трубопроводной арматуры и трубопроводов, выработавших установленный срок службы, осуществляется в порядке, установленном Ростехнадзором.

Для оборудования (аппаратов и трубопроводов), где невозможно исключить образование взрывоопасных сред и возникновение источников энергии, величина которой превышает минимальную энергию зажигания обрабатываемых веществ, предусматриваются методы и средства по взрывозащите и локализации пламени, а в обоснованных случаях – повышение механической прочности в расчёте на полное давление взрыва.

Эффективность и надёжность средств взрывозащиты, локализации пламени и других противоаварийных устройств должны подтверждаться испытанием промышленных образцов оборудования на взрывозащищённость.

Обеспечение оборудования противоаварийными устройствами не исключает необходимости разработки мер, направленных на предотвращение образования в нём источников зажигания.

Не допускается применять для изготовления оборудования и трубопроводов материалы, которые при взаимодействии с рабочей средой могут образовывать нестабильные соединения – инициаторы взрыва перерабатываемых продуктов.

Качество изготовления технологического оборудования и трубопроводов должно соответствовать требованиям нормативных документов и технической документации на данное оборудование и трубопроводы.

Устройство аппаратов, работающих под избыточным давлением, должно соответствовать требованиям нормативных документов для сосудов, работающих под давлением, и Правил ПБ 09-540–03.

Монтаж технологического оборудования и трубопроводов производится в соответствии с проектом, требованиями строительных норм и правил, стандартов и других нормативных документов.

Оборудование и трубопроводы, материалы и комплектующие изделия не могут быть допущены к монтажу при отсутствии документов, подтверждающих качество их изготовления и соответствие требованиям нормативно-технических документов.

В паспортах оборудования, трубопроводной арматуры, средств защиты и приборной техники должны указываться показатели надёжности, предусмотренные государственными стандартами.

На установках с технологическими блоками I категории взрывоопасности сварные соединения трубопроводов I категории, транспортирующих взрывопожароопасные и токсичные продукты, подлежат 100%-ному контролю неразрушающими методами (ультразвуковая дефектоскопия, просвечивание проникающим излучением или другие равноценные методы).

Выбор методов неразрушающего контроля и объём контроля других категорий трубопроводов должны определяться проектной документацией и быть достаточными для обеспечения их безопасной эксплуатации.

Технологические системы должны быть герметичными. В обоснованных случаях допускается применение оборудования, в котором по паспортным данным возможны регламентированные утечки горючих веществ (с указанием допустимых величин этих утечек в рабочем режиме). В проектной документации должен быть определён порядок их сбора и отвода.

Для герметизации подвижных соединений технологического оборудования, работающих в контакте с легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) и сжиженными газами (СГ), применяются преимущественно уплотнения торцового типа.

При необходимости устройства наружной теплоизоляции технологических аппаратов и трубопроводов предусматриваются меры защиты от попадания в неё горючих продуктов.

Температура наружных поверхностей оборудования и(или) кожухов теплоизоляционных покрытий не должна превышать температуры самовоспламенения наиболее взрыво- и пожароопасного продукта, а в местах, доступных для обслуживающего персонала, быть не более 45 °С внутри помещений и 60 °С на наружных установках.

Конструкция теплообменных элементов технологического оборудования должна исключать возможность взаимного проникновения теплоносителя и технологической среды. Требования к устройству,

изготовлению и надёжности, порядок испытаний, контроля за состоянием и эксплуатацией теплообменных элементов определяются соответствующими нормативными документами.

Для аппаратуры с газофазными процессами и газопроводов, в которых по условиям проведения технологического процесса возможна конденсация паров, при необходимости следует предусматривать устройства для сбора и удаления жидкой фазы.

Для проведения периодических, установленных регламентом работ по очистке технологического оборудования, как правило, предусматриваются средства гидравлической, механической или химической чистки, исключающие пребывание людей внутри оборудования.

Аппараты с взрыво- и пожароопасными продуктами оборудуются устройствами для подключения линий воды, пара, инертного газа. Аппараты могут быть оснащены устройствами для проветривания.

Для взрыво- и пожароопасных технологических систем, оборудование и трубопроводы которых в процессе эксплуатации по роду работы подвергаются вибрации, предусматриваются меры и средства по исключению её воздействия на уплотнительные элементы и снижению воздействия на смежные элементы технологической системы и строительные конструкции.

Допустимые уровни вибрации для отдельных видов оборудования и его элементов (узлов и деталей), методы и средства контроля этих величин и способы снижения их значений должны соответствовать требованиям государственных стандартов, нормативных документов и отражаться в технической документации на оборудование.

Размещение технологического оборудования, трубопроводной арматуры и т.д. в производственных зданиях и на открытых площадках должно обеспечивать удобство и безопасность их эксплуатации, возможность проведения ремонтных работ и принятия оперативных мер по предотвращению аварийных ситуаций или локализации аварий.

Размещение технологического оборудования и трубопроводов в помещениях, на наружных установках, а также трубопроводов на эстакадах должно осуществляться с учётом возможности проведения визуального контроля за их состоянием, выполнения работ по обслуживанию, ремонту и замене.

Технологическое оборудование взрыво- и пожароопасных производств не должно размещаться: над и под вспомогательными помещениями; под эстакадами технологических трубопроводов с горючими, едкими и взрывоопасными продуктами; над площадками открытых насосных и компрессорных установок, кроме случаев применения герметичных бессальниковых насосов или когда осуществляются специальные меры безопасности, исключающие попадание взрыво- и пожароопасных веществ на оборудование, установленное ниже.

Согласно правил ПБ 09-540–03 оборудование, выведенное из действующей технологической системы, должно быть демонтировано, если оно расположено в одном помещении с технологическими блоками I и(или) II категории взрывоопасности, во всех остальных случаях оно должно быть изолировано от действующих систем.

1.4. ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.4.1. Безопасная эксплуатация сосудов, работающих под давлением

Сосуд, работающий под давлением – это герметически закрытая ёмкость (аппарат), предназначенная для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ. Границей сосуда являются входные и выходные штуцеры.

Распространёнными сосудами под давлением являются баллоны, цистерны, бочки.

Баллон – сосуд, имеющий одну или две горловины для установки вентиля, фланцев и штуцеров, предназначенных для транспортирования, хранения и использования сжатых, сжиженных или растворённых под давлением газов.

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

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

Потенциальная опасность сосудов заключается в возможности, при определённых условиях, физического или химического взрыва, тепловых и химических ожогов, механических травм, разрушений оборудования и помещений, а в случае применения токсичных веществ – отравления работающих.

Физическим взрывом называется освобождение работы адиабатического сжатия паров или газов при разгерметизации или нарушении механической прочности корпуса ёмкости, в которой находится вещество под большим давлением.

Химический взрыв может произойти при разгерметизации систем, содержащих сжатые, сжиженные или растворённые горючие газы и жидкости, которые при соединении с кислородом воздуха образуют взрывоопасные смеси.

Причины взрывов сосудов и баллонов:

- нагрев баллонов солнцем, открытым огнём;

- быстрое наполнение баллонов при зарядке;
- падение баллонов и удары о твёрдые предметы (поверхности);
- попадание масел на арматуру или горловину кислородных баллонов;
- низкое качество или осадка пористой массы в ацетиленовых баллонах;
- быстрый выпуск газа из баллонов, вызывающий искры в струе газа;
- заполнение баллонов газами или жидкостями, для которых они не предназначены;
- появление дефектов (например, литейных раковин, газовых пор, трещин, прожогов и др.), снижающих прочностные характеристики баллонов и сосудов;
- нарушение режимов эксплуатации.

Проектирование, устройство, изготовление, монтаж, испытания, ремонт и эксплуатация систем, работающих под избыточным внутренним давлением, регламентируется «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» ПБ 03-576–03.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, распространяются на следующее оборудование:

1. Сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115 °С или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа, без учёта гидростатического давления.

2. Сосуды, работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа.

3. Баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворённых газов под давлением свыше 0,07 Мпа.

4. Цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжатых и сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа.

5. Цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создаётся периодически для их опорожнения.

6. Барокамеры.

Правила не распространяются на перечисленные ниже сосуды:

- сосуды, изготавливаемые в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок», утверждаемыми Ростехнадзором, а также сосуды, работающие с радиоактивной средой;

- сосуды вместимостью не более 0,025 м³ (25 л) независимо от давления, используемые для научно-экспериментальных целей. При определении вместимости из общей ёмкости сосуда исключается объём

ём, занимаемый футеровкой, трубами и другими внутренними устройствами. Группа сосудов, а также сосуды, состоящие из отдельных корпусов, соединённые между собой трубами с внутренним диаметром более 100 мм, рассматриваются как один сосуд;

– сосуды и баллоны вместимостью не более 0,025 м³ (25 л), у которых произведение давления в МПа на вместимость в м³ не превышает 0,02;

– сосуды, работающие под давлением, создающимся при взрыве внутри них в соответствии с технологическим процессом;

– сосуды, работающие под вакуумом;

– сосуды, устанавливаемые на морских, речных судах и других плавучих средствах (кроме драг);

– сосуды, устанавливаемые на самолётах и других летательных аппаратах;

– воздушные резервуары тормозного оборудования подвижного состава железнодорожного транспорта, автомобилей и других средств передвижения;

– сосуды специального назначения военного ведомства;

– приборы парового и водяного отопления;

– трубчатые печи;

– сосуды, состоящие из труб с внутренним диаметром не более 150 мм без коллекторов, а также с коллекторами, выполненными из труб с внутренним диаметром не более 150 мм.

Проекты сосудов и их элементов (в том числе запасных частей к ним), а также проекты их монтажа или реконструкции должны выполняться организациями, имеющими разрешение (лицензию) органов Ростехнадзора на проведение соответствующих работ, полученное в соответствии с «Положением о порядке выдачи специальных разрешений (лицензий) на виды деятельности, связанные с повышенной опасностью промышленных производств (объектов) и работ, а также с обеспечением безопасности при пользовании недрами».

Проекты и технические условия на изготовление сосудов должны согласовываться и утверждаться в установленном порядке. Отступление от настоящего порядка может быть допущено лишь в исключительном случае по разрешению Ростехнадзора. Для получения разрешения необходимо представить Ростехнадзору соответствующее обоснование, а в случае необходимости – заключение специализированной научно-исследовательской или экспертной организации.

Соответствие сосуда требованиям должно быть подтверждено изготовителем (поставщиком) оборудования сертификатом соответствия, выданным сертификационным центром. Копия сертификата соответствия прилагается к паспорту сосуда.

Конструкция сосудов должна обеспечивать надёжность и безопасность эксплуатации в течение расчётного срока службы и преду-

смагтривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки, полного опорожнения, продувки, ремонта, эксплуатационного контроля металла и соединений. Для каждого сосуда в паспорте указывается расчётный срок службы с учётом условий эксплуатации.

Устройства, препятствующие наружному и внутреннему осмотрам сосудов (мешалки, змеевики, рубашки, тарелки, перегородки и другие приспособления), должны быть съёмными. При применении приварных устройств должна быть предусмотрена возможность их удаления для проведения осмотров и последующей установки на место. Порядок съёма и установки приварных устройств должен быть указан в инструкции по монтажу и эксплуатации сосуда.

На каждом сосуде должен быть предусмотрен вентиль, кран или другое устройство, позволяющее осуществлять контроль за отсутствием давления в сосуде перед его открыванием; при этом отвод среды должен быть направлен в безопасное место.

Все сосуды должны быть снабжены необходимым количеством люков и смотровых лючков, обеспечивающих осмотр, очистку и ремонт сосудов, а также монтаж и демонтаж разборных внутренних устройств, а сосуды, которые в процессе эксплуатации изменяют своё положение в пространстве, должны иметь приспособления, предотвращающие их самопрокидывание.

Конструкция сосудов, обогреваемых горячими газами, должна обеспечивать надёжное охлаждение стенок, находящихся под давлением, до расчётной температуры. Установки воздухохраников, холодильников воздуха и других сосудов, рабочей средой которых является сжатый воздух, должны удовлетворять требованиям ПБ 03-581-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов». Заземление и электрическое оборудование сосудов должны соответствовать «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

При сварочных работах должны выполняться стыковые швы с полным проплавлением. Допускаются сварные соединения в тавр и угловые с полным проплавлением для приварки плоских днищ, плоских фланцев, трубных решёток, штуцеров, люков, рубашек. Применение нахлесточных сварных швов допускается для приварки к корпусу укрепляющих колец, опорных элементов, подкладных листов, пластин под площадки, лестницы, кронштейны и т.п.

Все сварные швы должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации сосудов. Сварочные материалы, применяемые для сварки сосудов, должны соответствовать требовани-

ям стандартов и технических условий, что должно подтверждаться сертификатом организации-изготовителя.

Организация-изготовитель, монтажная или ремонтная организация обязаны применять такие виды и объёмы контроля своей продукции, которые гарантировали бы выявление недопустимых дефектов, ее высокое качество и надёжность в эксплуатации.

В процессе изготовления сосудов должны проверяться:

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

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

Для гидравлического испытания сосудов должна применяться вода с температурой не ниже 5 °С и не выше 40 °С, если в технических условиях не указано конкретное значение температуры, допускаемой по условию предотвращения хрупкого разрушения. Разность температур стенки сосуда и окружающего воздуха во время испытаний не должна вызывать конденсации влаги на поверхности стенок сосуда. По согласованию с разработчиком проекта сосуда вместо воды может быть использована другая жидкость.

Давление в испытываемом сосуде следует повышать плавно. Скорость подъёма давления должна быть указана: для испытания сосуда в организации-изготовителе – в технической документации, для испытания сосуда в процессе работы – в инструкции по монтажу и эксплуатации. Использование сжатого воздуха или другого газа для подъёма давления не допускается.

Давление при испытании должно контролироваться двумя манометрами. Оба манометра выбираются одного типа, предела измерения, одинаковых классов точности, цены деления. Время выдержки сосуда под пробным давлением устанавливается разработчиком проекта. После выдержки под пробным давлением давление снижается до расчётного, при котором производят осмотр наружной поверхности сосуда, всех его разъёмных и сварных соединений.

Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружено:

- течи, трещин, слёзков, потения в сварных соединениях и на основном металле;
- течи в разъёмных соединениях;

- видимых остаточных деформаций, падения давления по манометру.

Каждый сосуд должен поставляться изготовителем заказчику с паспортом установленной формы. К паспорту должна быть приложена инструкция по монтажу и эксплуатации. Элементы сосудов (корпуса, обечайки, днища, крышки, трубные решётки, фланцы корпуса, укрупнённые сборочные единицы), предназначенные для реконструкции или ремонта, должны поставляться изготовителем с удостоверением о качестве изготовления, содержащим сведения в объёме согласно требованиям соответствующих разделов паспорта.

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

В качестве предохранительных устройств от повышения давления выше допустимого значения, применяются:

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

Количество предохранительных клапанов, их размеры и пропускная способность должны быть выбраны по расчёту так, чтобы в сосуде не создавалось давление, превышающее избыточное рабочее более чем на 0,05 МПа для сосудов с давлением до 0,3 МПа, на 15% – для сосудов с давлением от 0,3 до 6,0 МПа и на 10% – для сосудов с давлением свыше 6,0 МПа. При работающих предохранительных клапанах допускается превышение давления в сосуде не более чем на 25% рабочего при условии, что это превышение предусмотрено проектом и отражено в паспорте сосуда.

Предохранительные устройства должны устанавливаться на патрубках или трубопроводах, непосредственно присоединённых к сосуду. Присоединительные трубопроводы предохранительных устройств (подводящие, отводящие и дренажные) должны быть защищены от замерзания в них рабочей среды. При установке на одном патрубке (трубопроводе) нескольких предохранительных устройств, площадь поперечного сечения патрубка (трубопровода) должна быть не менее 1,25 суммарной площади сечения клапанов, установленных на нём.

При необходимости контроля уровня жидкости в сосудах, имеющих границу раздела сред, должны применяться указатели уровня. Кроме указателей уровня на сосудах могут устанавливаться звуковые, световые и другие сигнализаторы и блокировки по уровню. На сосудах, обогреваемых пламенем или горячими газами, у которых возможно понижение уровня жидкости ниже допустимого, должно быть установлено не менее двух указателей уровня прямого действия.

На каждом указателе уровня жидкости должны быть отмечены допустимые верхний и нижний уровни, они устанавливаются разработчиком проекта. Высота прозрачного указателя уровня жидкости должна быть не менее чем на 25 мм соответственно ниже нижнего и выше верхнего допустимых уровней жидкости.

Сосуды должны устанавливаться на открытых площадках в местах, исключающих скопление людей, или в отдельно стоящих зданиях.

Допускается установка сосудов:

- в помещениях, примыкающих к производственным зданиям, при условии отделения их от здания капитальной стеной;
- в производственных помещениях в случаях, предусмотренных отраслевыми правилами безопасности;
- с заглублением в грунт при условии обеспечения доступа к арматуре и защиты стенок сосуда от почвенной коррозии и коррозии блуждающими токами.

Не разрешается установка в жилых, общественных и бытовых зданиях, а также в примыкающих к ним помещениях.

Разрешение на ввод в эксплуатацию сосудов, работающих под давлением, выдаётся после удовлетворительных результатов технического освидетельствования: на сосуды, подлежащие регистрации в Ростехнадзоре, – его местными органами; на сосуды, не подлежащие регистрации в Ростехнадзоре, – бюро (отделом) по надзору предприятия.

Регистрации в органах Ростехнадзора не подлежат:

– сосуды 1-й группы, работающие при температуре стенки не выше 200 °С, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м³ не превышает 0,05, а также сосуды 2-й, 3-й, 4-й групп, работающие при указанной выше температуре, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м³ не превышает 1,0;

– аппараты воздухоразделительных установок и разделения газов, расположенные внутри теплоизоляционного кожуха (регенераторы, колонны, теплообменники, конденсаторы, адсорберы, отделители, испарители, фильтры, переохладители и подогреватели);

– резервуары воздушных электрических выключателей;

– бочки для перевозки сжиженных газов, баллоны вместимостью до 100 л включительно, установленные стационарно, а также предназначенные для транспортировки и(или) хранения сжатых, сжиженных и растворённых газов;

- генераторы (реакторы) для получения водорода, используемые гидрометеорологической службой;
- сосуды, включённые в закрытую систему добычи нефти и газа (от скважины до магистрального трубопровода), к которым относятся сосуды, включённые в технологический процесс подготовки к транспортировке и утилизации газа и газового конденсата: сепараторы всех ступеней сепарации, отбойные сепараторы (на линии газа, на факелах), абсорберы и адсорберы, ёмкости разгазирования конденсата, абсорбента и ингибитора, конденсатосборники, контрольные и замерные сосуды нефти, газа и конденсата;
- сосуды для хранения или транспортировки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, находящихся под давлением периодически при их опорожнении;
- сосуды со сжатыми и сжиженными газами, предназначенные для обеспечения топливом двигателей транспортных средств, на которых они установлены;
- сосуды, установленные в подземных горных выработках.

1.4.2. Безопасная эксплуатация компрессоров и насосов

Безопасность эксплуатации компрессорных установок

Компрессорная установка – это система для получения сжатого газа с заданными параметрами, состоящая из компрессора, привода, охладителей газа и воздуха, влагоотделителей, ресивера, трубопроводов, запорной и предохранительной арматуры, а также из контрольно-измерительной аппаратуры.

Рабочая характеристика оборудования (давление, температура, мощность и размер), его тип и исполнение, а также взаимное местоположение зависят от мощности компрессорной установки, свойств перекачиваемого газа и т.п.

На рисунке 1.1 приведена простейшая схема компоновки основных элементов воздушной компрессорной установки с объёмным (поршневым) компрессором. Для конкретного производства эта схема, естественно, усложняется или упрощается ещё на стадии проектирования с учётом конкретных условий производства.

Заводские стационарные компрессорные установки располагаются в отдельном здании или помещении общего производственного здания, называемом компрессорным цехом или просто компрессорной. Для организации ремонтно-восстановительных работ предприятия могут иметь передвижные и переносные компрессорные установки. Все требования к работе, обслуживанию, ремонту, безопасности труда в основном одинаковы как для магистральных, так и для заводских компрессорных установок, с учётом специфики свойств перекачиваемых газов, что отражается в соответствующей технической документации, прилагаемой к каждой компрессорной установке.

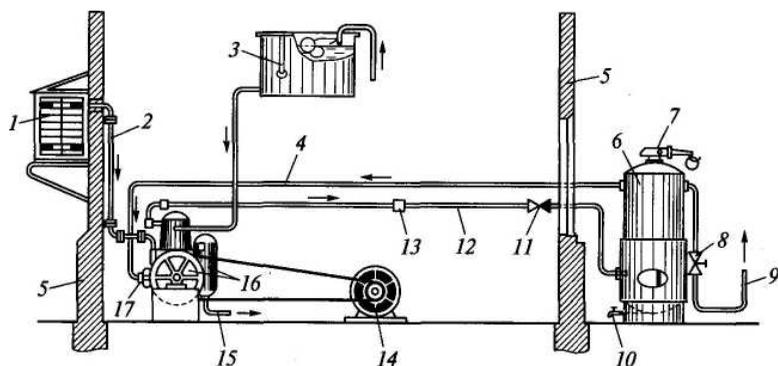


Рис. 1.1. Схема компоновки основных элементов воздушной компрессорной установки предприятия:

- 1 – воздушный фильтр; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – напорный бак системы водяного охлаждения; 4 – трубопровод к регулятору давления; 5 – стены здания компрессорной станции; 6 – ресивер (воздухосборник); 7 – предохранительный клапан; 8 – запорный вентиль (или задвижка); 9 – трубопровод воздуха к потребителю; 10 – кран для выпуска загрязнений; 11 – обратный клапан; 12 – напорный воздухопровод; 13 – маслоотделитель; 14 – приводной электродвигатель; 15 – выход воды из системы охлаждения компрессора; 16 – компрессор; 17 – регулятор давления

На рисунке 1.2 приведена упрощённая принципиальная технологическая схема турбокомпрессорного агрегата высокого давления с приводом от высокооборотного теплового двигателя (паровой или газовой турбины), применяемого для сжатия азотно-водородной смеси при производстве аммиака. Компрессор конструктивно скомпонован из четырёх отдельных цилиндров 1, 5, 6, 8 I – IV ступеней. В цилиндре 5 IV ступени расположен центробежный циркуляционный компрессор 4. Сжатый после каждой ступени газ охлаждается в промежуточных холодильниках 2 и очищается от влаги в сепараторах 3. Компрессорная установка приводится в действие от паровой или газовой турбины 7. На более подробных схемах показываются система смазки, органы регулирования и контрольно-измерительные приборы.

Каждая компрессорная установка оснащается **автоматической системой**, выполняющей следующие функции:

- контроль параметров рабочих тел по приборам, установленным на приборном щите в машинном зале и по месту измерения;
- запись основных параметров на диспетчерском пульте (щите) управления компрессора;
- световая и звуковая сигнализация об отклонении основных параметров от номинальных (рабочих) значений;

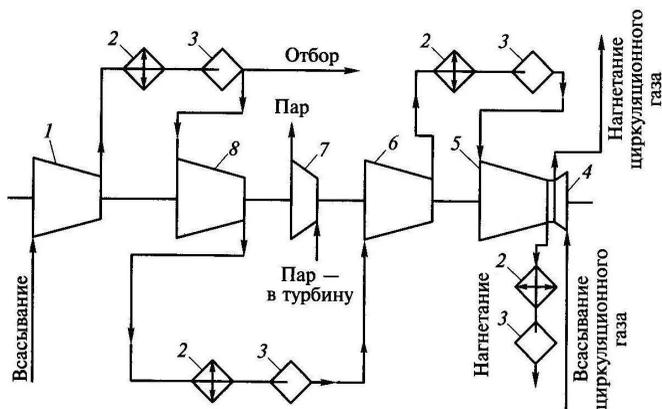


Рис. 1.2. Принципиальная технологическая схема турбокомпрессорного агрегата высокого давления:

- 1, 5, 6, 8 – цилиндры компрессора; 2 – холодильник; 3 – сепаратор;
4 – центробежный циркуляционный компрессор; 7 – турбина

- дистанционное управление запорной арматурой газо- и водопровода больших диаметров с местного щита управления компрессора;
- введение в действие защитных блокировок, предотвращающих пуск и останавливающих приводной электродвигатель компрессора в случаях нарушения пускового и рабочего регламентов.

Современные компрессорные установки, как правило, оснащаются системой программного пуска и остановки компрессора. Для контроля за режимом компрессора установлены манометры и термометры на линиях всасывающей и нагнетательной, а также после каждой ступени. Для контроля производительности компрессора на всасывающей линии находится расходомерное устройство, а для контроля за работой холодильника – термометр.

В случае принудительной смазки механизма движения для каждой компрессорной установки служит система смазки, состоящая из насоса (обычно в картере компрессора), трубопроводов, фильтров, охладителей масла, манометра и термометра, контролирующего режим смазки.

Для компрессоров с водяным охлаждением неотъемлемой частью являются подводящие и отводящие воду трубопроводы, запорные устройства для распределения подводимой воды по цилиндрам и охладителям и сливные воронки с фонарями для контроля количества охлаждающей воды. Обычно число сливных трубопроводов равно количеству объектов охлаждения.

Сборочные единицы и детали компрессорного оборудования, соприкасающиеся с агрессивной средой, должны иметь антикоррозион-

ную защиту или быть изготовленными из коррозионностойких материалов.

Компрессорные установки могут быть стационарные и передвижные.

Стационарные компрессорные установки являются частью оборудования, составляющего отдельный технологический процесс, или могут быть в составе машинных отделений или цехов для централизованного обслуживания целого производства (отделение компримирования для систем газоотделения, холодильное отделение, цех сжатого воздуха для обеспечения работы автоматики и контрольно-измерительных приборов).

Передвижные станции снабжают сжатым воздухом установки, занятые на земляных, строительных и монтажных работах. Передвижные станции могут быть автономными с приводом от двигателя внутреннего сгорания, а также питаться от электродвигателя через временные электропередачи.

Требования безопасности, предъявляемые к конструкции компрессорного оборудования и правильной его эксплуатации, определены ПБ 03-581-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов», ПБ 03-582-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации установок с поршневыми компрессорами, работающими на взрывоопасных и вредных газах» и рядом других нормативных документов.

Причинами, которые могут вызвать взрыв компрессорной станции для получения сжатого воздуха, являются:

- превышение допускаемых давления и температуры сжимаемого воздуха;
- забор запылённого воздуха;
- перегрев компрессора в процессе работы;
- воспламенение и взрыв паров смазочного масла;
- скопление нагара;
- возникновение зарядов статического электричества;
- неисправность манометра, предохранительных клапанов, разъёмных соединений и др.

Сжатые и сжиженные газы получают с помощью компрессоров, которые представляют опасность физического взрыва из-за высокого давления и химического взрыва из-за реакции паров смазки с окисляющими газами.

Для предотвращения физических взрывов на нагнетательной стороне компрессоров устанавливают предохранительные клапаны, которые подбирают по пропускной способности, равной производительности компрессора, и максимальному давлению срабатывания клапана.

Защита от химических взрывов компрессоров производится путём выбора температурных режимов сжатия газов (метод устранения

источника зажигания) и подбором инертных по отношению к сжимаемым газам смазочных материалов (метод устранения горючей смеси).

Первый метод используют преимущественно для воздушных компрессоров. Попадание паров смазочного масла в сжатый воздух приводит к образованию в цилиндрах, воздухоотборниках, масловодоотделителях и трубопроводах взрывоопасных смесей. Если температура сжатого воздуха достигает температуры вспышки паров масла, возможен взрыв. Поэтому для смазки компрессоров применяют масла с температурой вспышки на 75 °С выше температуры адиабатического сжатия газа или принудительное охлаждение.

Второй метод используют в компрессорах для кислорода и других окисляющих газов. В конструкциях компрессоров, трубопроводов и газосборниках применяют только негорючие материалы, а в качестве смазки используют графит или 10%-ный раствор глицерина в воде. Весь кислородный тракт периодически обезжиривают четырёххлористым углеродом. На всасывающей стороне компрессоров окисляющих и горючих газов поддерживается избыточное давление 250 Па и устанавливается блокировка отключения компрессора при падении давления до 100 Па.

Воздушные компрессоры представляют большую опасность, чем газовые, так как в них возможно образование взрывоопасных смесей в результате смешения даже с небольшими количествами горючих газов, попавших в компрессорную установку с забираемым воздухом, или смешения продуктов разложения смазочных масел с кислородом сжимаемого воздуха. Поэтому воздух забирают из зоны, не содержащей примесей горючих газов и пыли, на высоте не менее 2...3 м от уровня земли и очищают в фильтрах различной конструкции.

При компримировании газа взрывоопасная смесь может образоваться только при значительном разбавлении газа воздухом, что происходит только в результате аварии компрессорной установки. Повышение давления сжимаемого газа сверх допустимого значения может привести к разрыву отдельных элементов компрессорной установки. С возрастанием давления снижается также температура вспышки смазочного масла. При сжатии воздуха, если его не охлаждать, температура внутри цилиндра компрессора по мере повышения давления возрастает.

При высокой температуре уменьшается вязкость смазочного масла и ускоряется его термическое разложение; при этом выделяются водород, предельные и непредельные лёгкие углеводороды, в том числе ацетилен, которые образуют с воздухом взрывоопасные смеси. При разложении смазочного масла на стенках цилиндра компрессора, клапанных устройствах и нагнетательных трубопроводах откладываются твёрдые продукты разложения (технический углерод, смолы, кокс, асфальтены), образующие «нагар». Присутствие в сжимаемом газе

пыли, окалины и продуктов коррозии резко усиливает образование нагара, увеличивает трение, создаёт местные перегревы, что может привести к взрыву.

Смазочные масла при высокой температуре частично испаряются, а при излишне обильной смазке распыляются в сжимаемом воздухе в виде мельчайших брызг – тумана, образуя с воздухом взрывоопасные смеси.

Система смазки и смазочные масла. Правилами предусмотрена подача масла под давлением циркуляционными принудительными системами. Циркуляционная система смазки и промывки компрессоров снабжена фильтрующими устройствами для очистки масла от примесей. Для контроля давления масла в системе предусматривается установка манометрова и клапанов. Все линии подачи масла в системе смазки цилиндров и сальников снабжены обратными клапанами.

Для смазки цилиндров и сальников газовых компрессоров применяют масла с температурой вспышки не менее чем на 20 °С выше температуры нагнетаемого газа. Как правило, температура вспышки компрессорных смазочных масел выше 200 °С, а температура их самовоспламенения составляет не ниже 400 °С.

Система охлаждения компрессорных установок. Для предотвращения повышения температуры сжимаемого газа сверх допустимой, а, следовательно, для обеспечения безопасной работы компрессорные установки снабжают надёжной системой воздушного или водяного охлаждения (в зависимости от их производительности и рабочего давления).

Температура сжимаемого газа не должна превышать температуру вспышки компрессорного масла: в одноступенчатых компрессорах температура сжатого газа не превышает 160 °С, а в многоступенчатых – 140 °С. При многоступенчатом сжатии устанавливают промежуточные выносные холодильники для газа после каждой ступени сжатия.

В компрессорных установках применяется открытая циркуляционная система охлаждения, в которой отработанная вода сливается без давления в общую сливную воронку. Это необходимо для наблюдения за циркуляцией воды и её температурой.

Предохранительные устройства. К предохранительным устройствам, которыми оборудуются компрессорные установки, относятся предохранительные клапаны, предохранительные мембраны и обратные клапаны.

Для нормальной и безопасной работы компрессора на всех ступенях сжатия устанавливают предохранительные клапаны.

В тех случаях, когда предохранительный клапан не может надёжно работать, компрессор должен быть снабжён предохранительной мембраной. Её устанавливают перед предохранительными клапанами, которые размещают до запорной арматуры и обратного клапана.

Контрольно-измерительные приборы. Для обеспечения безаварийной работы компрессорные установки снабжают термометрами, манометрами, расходомерами и т.п., которые должны обеспечивать постоянный контроль за температурой и давлением.

Температуру замеряют ртутными термометрами (размещёнными в металлическом кожухе), логометрами, милливольтметрами, электронными автоматическими мостами и потенциометрами.

Для измерения давления применяют пружинные манометры. Манометры высокого давления на линиях подвода взрывоопасных и токсичных газов оборудуют автоматически действующими запорными клапанами, а также защитными приспособлениями, препятствующими поражению персонала осколками в случае разрушения манометров.

Автоматизированные компрессорные установки, работающие на взрывоопасных и токсичных газах, оснащены приборами, сигнализирующими о появлении механических неисправностей, и отключающими устройствами. Они должны обеспечивать остановку двигателя компрессора или не допускать его включения, если это необходимо.

В случае изменения эксплуатационных параметров предусмотрена звуковая или световая сигнализация.

Для обеспечения безопасной работы компрессоров при перегрузке и поломках предусмотрены дополнительные специальные системы защиты в случае механической неисправности.

Специальные требования безопасности. В зависимости от свойств компримируемых газов возникает необходимость соблюдения специальных требований безопасности.

Одним из основных условий безопасной эксплуатации газовых компрессоров является контроль состояния их герметичности, который осуществляют с помощью сигнализаторов горючего газа, связанных с аварийной вентиляцией в помещении компрессорной.

Обеспечению герметичности особое внимание уделяется при работе водородных компрессоров, так как нижний концентрационный предел распространения пламени очень низок – 4 об. %, и даже небольшое количество выделившегося водорода может привести к созданию в помещении взрывоопасной среды.

При сжатию кислорода необходимо исключить его контакт с любыми смазочными маслами, так как они быстро окисляются и воспламеняются. Поэтому для смазки используют водоглицириновую эмульсию, фторопластовые органические и другие смазки, не окисляющиеся кислородом.

Особые требования безопасности предъявляются к ацетиленовым компрессорам, поскольку ацетилен обладает способностью к взрывному распаду при повышенной температуре. Безопасность работы этих компрессоров обеспечивается за счёт использования преимущественно

поршневых компрессоров с медленным ходом поршня (со скоростью не более 0,7 м/с), создающих давление до 2...0,4 МПа, и применения усиленного охлаждения – температура газа не должна превышать 100...110 °С. Арматура и контрольно-измерительные приборы ацетиленовых компрессоров не должны содержать детали, изготовленные из меди и её сплавов, а также из серебра, исключено применение серебряных припоев, так как образующиеся ацетилениды обладают взрывоопасными свойствами.

В компрессорах для сжатия хлора в качестве смазки используют концентрированную серную кислоту, так как обычные смазочные масла в атмосфере хлора подвергаются хлорированию.

Для сглаживания пульсаций давления сжатого воздуха или газа между поршневым компрессором и магистралью устанавливают буферные ёмкости, которые размещают вне помещений на открытой ограждаемой площадке. Они оснащены кранами для спуска воды и масла, манометрами и предохранительными клапанами, имеют лазы и люки для очистки. Между буферной ёмкостью и компрессором устанавливают обратный клапан.

При эксплуатации поршневых компрессоров следует предусмотреть их защиту от атмосферных воздействий. Степень защиты компрессоров, а также обслуживающего персонала в данном случае определяется климатическими условиями района расположения предприятия.

Эксплуатация компрессоров в закрытых производственных помещениях потенциально более опасна, и поэтому должны быть приняты специальные меры, предупреждающие образование взрывоопасных концентраций горючих паров и газов. Следует также предусмотреть защиту персонала от тепловых поражений и травмирования осколками в случае возникновения аварии. Возможными решениями этой проблемы может быть вынос части оборудования, арматуры и коммуникаций во вспомогательные помещения и на открытые площадки, рациональная планировка и вентиляция машинного зала.

Выбор способа вентиляции определяется планировочными решениями. Предпочтение отдают естественной вентиляции. Однако эффективная естественная вентиляция возможна только при большой степени раскрытия зданий. При малых степенях раскрытия необходимо использовать принудительную приточно-вытяжную вентиляцию.

Для защиты персонала от возможных последствий предусматриваются специальные зоны обслуживания или так называемые коридоры управления, куда выносят приборные щиты, пульта дистанционного управления и ручные органы управления отсекающей арматурой, расположенной снаружи здания компрессорной. Зона обслуживания расположена вдоль машинного зала в стороне от оборудования и ограждается от машинного зала защитным экраном. При необходимости

непосредственного обслуживания оборудования высокого давления практикуют использование специальных кабин. Персонал обеспечивается касками, защитными очками и теплостойкой одеждой.

Перечисленные меры дают ограниченные результаты, так как направлены на снижение последствий воздействия опасных факторов, а не на их ликвидацию. Кардинально решить проблему безопасности компрессорных установок можно только заменой поршневых компрессоров центробежными. В этом случае создаются условия для выноса всего оборудования на наружные установки, а также ликвидируются источники колебаний давления в системе.

Безопасная эксплуатация насосов

Безопасность эксплуатации насосов обеспечивается их надёжной конструкцией, коррозионной стойкостью материала и герметичностью уплотнения движущихся частей. При перекачивании горячей жидкости предусматривается система охлаждения деталей насоса, а также принимаются специальные меры защиты персонала от ожогов. Детали насосов, соприкасающиеся с перекачиваемыми кислотами, изготавливают из коррозионно-стойких материалов или покрывают защитными составами. В насосах для перекачивания легколетучих, горючих и токсичных жидкостей используют специальные сальники и другие герметизирующие устройства, предотвращающие утечку паров через неплотности.

Центробежные насосы. Их габариты и масса относительно невелики, они просты по устройству и более безопасны в эксплуатации. Для их изготовления используют различные коррозионно-устойчивые материалы: легированные стали, фаолит, винипласт, фторопласт, фарфор, стекло, керамику, различные сплавы, чугун и др.

Центробежные насосы обеспечивают равномерную, без толчков, подачу жидкости, они могут перекачивать загрязнённые жидкости и шламы, работать без присмотра персонала в течение относительно длительного времени. Многоступенчатые центробежные насосы способны развивать высокие давления и перекачивать жидкости с температурой до 400 °С.

Одна из серьёзных опасностей при эксплуатации центробежных насосов связана с явлением кавитации. При кавитации и выделении газов сужается проходное сечение и может произойти срыв работы насоса. При интенсивной кавитации насос может выйти из строя за несколько часов работы.

Центробежные насосы оснащены арматурой и контрольно-измерительными приборами, обеспечивающими безопасность его эксплуатации. До рабочего колеса устанавливается вакуумметр, а после него – манометр, на всасывающем трубопроводе имеется сетка, предо-

храняющая рабочее колесо от попадания в него посторонних предметов. На нагнетательном трубопроводе устанавливают предохранительный или обратный клапан (для удержания столба жидкости во время остановки насоса и предотвращения обратного перетока жидкости) и задвижку, используемую при остановке и пуске насоса и необходимую для регулирования подачи жидкости.

Поршневые насосы. Эти насосы применяют для транспортирования жидкостей при высоких давлениях и перекачивания высококипящих жидкостей средней и высокой вязкости, так как относительно малая скорость движения поршня даёт возможность вязкой жидкости целиком заполнить цилиндр.

Поршневые насосы оборудуют прямодействующим паровым приводом, что уменьшает их пожаро- и взрывоопасность при перекачивании горючих продуктов.

Основная опасность при эксплуатации поршневых насосов связана с возможным разрывом нагнетательного трубопровода в случае его засорения или перекрытия находящейся на нём задвижки во время пуска или работы насоса. Для предотвращения аварии предусмотрена система обвязки поршневого насоса, при которой нагнетательная линия соединяется со всасывающей через предохранительный клапан на обводной линии. При повышении давления в нагнетательном трубопроводе срабатывает предохранительный клапан, который сбрасывает давление во всасывающую линию. На байпасной линии установлена задвижка, с помощью которой можно регулировать производительность насоса, перепуская часть жидкости во всасывающую линию.

К существенным недостаткам поршневых насосов относится неравномерная, пульсирующая подача перекачиваемой жидкости, что приводит к вибрации, нарушению герметичности фланцевых соединений и разрушению трубопроводов. Для уменьшения пульсации в поршневых насосах как можно ближе к нагнетательному клапану ставят воздушный клапан, выравнивающий скорость движения жидкости в нагнетательном трубопроводе. Размер воздушного клапана определяется расчётом: объём воздуха (пара) в колпаке во время работы должен составлять примерно $2/3$ полного объёма колпака. Для наблюдения за уровнем жидкости в колпак вмонтировано мерное стекло или уровнемер другого типа. Помимо снижения вибрации, колпак предохраняет насос от гидравлических ударов при внезапной остановке насоса.

Специальные насосы. Для перекачки высоковязких продуктов, суспензий, шламов и сильно загрязнённых жидкостей применяют насосы объёмного типа разных конструкций – шестеренчатые, эксцентрические со скользящими лопатками, роторные и др. Одна из перспективных конструкций – одновинтовые насосы, отличающиеся равномерностью подачи и большой высотой подъёма. Так как рабочая

часть этих насосов может быть изготовлена из резины или пластмасс, они пригодны для перекачивания кислот, щелочей, сильно загрязнённых жидкостей, густых суспензий, жидкого стекла, смол, целлюлозной массы.

Для перекачки небольших количеств опасных продуктов на лабораторных и опытных установках, а также в качестве дозирочных насосов нашли применение роторно-диафрагменные и шланговые насосы. Рабочей частью этих простых по конструкции и надёжных в работе насосов являются эластичные и стойкие к воздействию перекачиваемых жидкостей резиновые шланги или специальной формы диафрагмы. Корпус роторно-диафрагменных насосов может быть изготовлен из пластмассы.

Для транспортировки вязких, агрессивных, токсичных и абразивных сред большое распространение получили диафрагменные насосы с пневматическим приводом. Использование сжатого воздуха или инертного газа в качестве привода вместо механических движущихся частей позволяет перекачивать детонирующие жидкости, например нитроэфиры.

Для надёжности и безаварийной работы этих насосов необходимо следить за степенью износа и своевременной заменой эластичных деталей, которые вследствие непрерывной деформации и дарения полимера имеют ограниченный срок службы. При перекачке жидкостей диэлектриков в насосах происходит накопление зарядов статического электричества, поэтому следует принимать своевременные меры для их отвода. Особый интерес представляют магнитно-гидродинамические насосы, применяемые для безопасного перекачивания кислот, щелочей, растворов солей и других электропроводных жидкостей. В них струя жидкости разгоняется бегущим вдоль отрезка «труба–насос» переменным электромагнитным полем. В электропроводящей жидкости возникают индукционные токи, и она увлекает электромагнитным полем, подобно тому, как в асинхронном электродвигателе ротор увлекается вращающимся электромагнитным полем. Основанные на новом принципе магнитно-гидродинамические насосы герметичны, не имеют сальников, вращающихся и каких-либо других подвижных частей и поэтому безопасны.

1.4.3. Безопасность эксплуатации резервуаров для сжиженных газов и газгольдеров

Резервуарами называются сосуды, предназначенные для приёма, хранения, технологической обработки и отпуска различных жидкостей. В зависимости от положения в пространстве и геометрической формы стальные резервуары принято разделять на следующие типы: вертикальные цилиндрические, горизонтальные цилиндрические, сферические и др.

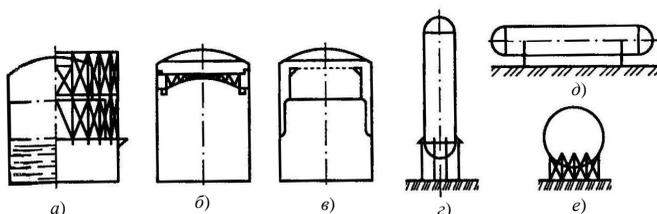


Рис. 1.3. Схемы резервуаров и газгольдеров низкого (*a – в*) и высокого (*г – е*) давления:

a – мокрый с вертикальными направляющими; *б* – сухой поршневого типа; *в* – сухой с гибкой секцией (мембраной); *г* – вертикальный цилиндрический; *д* – горизонтальный цилиндрический; *е* – сферический

По расположению относительно планировочного уровня строительной площадки резервуары делятся на: надземные, когда днище резервуаров расположено на опорах выше уровня основания – грунта (с зазорами); наземные, когда днище резервуаров непосредственно опирается на основание – грунт (без зазора); подземные, когда верхняя грань или верхняя образующая резервуаров расположена ниже планировочного уровня территории площадки. Вертикальные цилиндрические резервуары выполняют со стационарной крышей, с понтоном и с плавающей крышей.

Газгольдеры представляют собой инженерные сооружения, предназначенные для хранения газов различного происхождения и назначения и снабжённые специальными устройствами для регулирования основных параметров хранимых материалов (количество, состав и др.).

Газгольдеры бывают низкого давления (рис. 1.3, *a – в*), в соответствии с технологическими и конструктивными особенностями, разделяют на две группы – мокрые (с вертикальными направляющими) и сухие, которые могут быть поршневого типа и с гибкой секцией (мембраной).

Газгольдеры высокого давления (рис. 1.3, *г – е*) бывают цилиндрическими (вертикальными или горизонтальными) и сферическими.

Резервуары и газгольдеры, предназначенные для хранения горючих газов, относятся к объектам повышенной опасности.

Безопасная эксплуатация резервуаров для сжиженных газов

Потребность хранения большого объёма сжиженных газов различного назначения вызвала необходимость проектирования и строительства изотермических резервуаров. Пары сжиженных газов при температурах порядка +40 °С обладают большой упругостью и поэтому резервуары для их хранения в обычных условиях должны выдерживать давление 18,0 МПа и более (в зависимости от хранимого газа).

При искусственном снижении упругости паров за счёт охлаждения эти газы можно хранить в обычных вертикальных резервуарах при давлении до 0,01 МПа, что даёт возможность снизить расход металла в 8...15 раз в зависимости от объёма резервуара.

Изотермические резервуары имеют обычно двустенную конструкцию. Стенка и днище резервуаров имеют такую же конструкцию, как у обычных резервуаров для нефтепродуктов. Отличие заключается в конструкции крыши, которая принимается самонесущей в виде торосферической или сферической оболочки. На рисунке 1.4 изображён изотермический резервуар объёмом 20 тыс. м³ с двойной стенкой. Резервуар состоит из наружного 1 и внутреннего 2 корпусов, колец жёсткости 3, кровли 4, 5 наружного и внутреннего корпусов и анкеров 6. Резервуар монтируется на фундаменте 7. В промежутке между корпусами, днищами и кровлями находится теплоизоляция. На стенках устанавливаются изоляционные плиты.

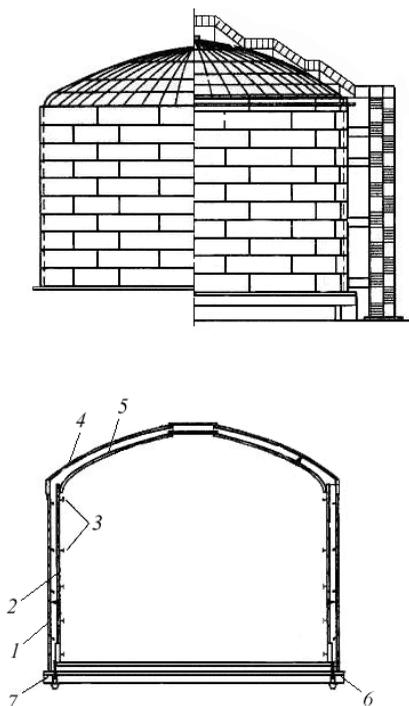


Рис. 1.4. Изотермический резервуар:

1 – наружный корпус; 2 – внутренний корпус; 3 – кольца жёсткости;
4, 5 – кровля; 6 – анкеры; 7 – фундамент

Для низкотемпературных хранилищ применяются специальные никелесодержащие или нержавеющие стали, а также алюминиевые сплавы. Расчёт несущих конструкций изотермических резервуаров выполняется как для обычных конструкций, за исключением учёта температурных деформаций и необходимости применения специальных компенсаторов в зоне врезки трубопроводов.

Резервуары для сжиженных газов снабжаются клапанами, указателями давления паровой фазы, указателями уровня жидкой фазы, термометрами для замера температуры жидкой фазы, запорными органами для отключения резервуаров от трубопроводов по приёму и отпуску сжиженных газов, люками для входа обслуживающего персонала в резервуар и его вентиляции, устройствами для вентиляции и продувки резервуаров инертным газом, паром или воздухом и устройствами для удаления из него промывных стоков воды и тяжёлых остатков, а также устройствами для отбора проб жидкой и паровой фаз.

Арматура, предназначенная для сжиженных газов, независимо от температуры и давления должна быть стальной.

На приёмо-раздаточном трубопроводе устанавливается скоростной клапан, позволяющий автоматически отключить от резервуара трубопровод при его повреждении. В случае поступления сжиженного газа в резервуар по отдельному приёмному трубопроводу на нём устанавливается обратный клапан, автоматически закрывающийся под внутренним давлением, предотвращая возможность попадания продукта из резервуара в трубопровод.

Каждый резервуар оборудуется не менее чем двумя предохранительными пружинными клапанами (рабочим и аварийным), предназначенными для быстрого удаления продукта из резервуара или трубопровода при повышении заданного давления. Клапаны должны быть всегда исправными и правильно отрегулированными. За ними требуется постоянное наблюдение и уход в соответствии с указаниями, изложенными в производственных инструкциях. Предохранительные клапаны, установленные на резервуарах для сжиженных природных газов промышленных предприятий, подлежат ревизии не реже одного раза в четыре месяца.

Клапаны подбираются в зависимости от давления среды (при определённой температуре), интервала температур, в которых они будут работать, и агрессивности продуктов.

При хранении сжиженных газов в объёме до нескольких сотен кубических метров, как правило, применяют горизонтальные цилиндрические резервуары. Например, аммиак, хлор, хлористый этил хранят в горизонтальных цилиндрических резервуарах ёмкостью не более 200 м³. При хранении продукта в большем количестве устанавливают шаровые резервуары. Например, сжиженные углеводородные газы (бутан, пропан) хранят в шаровых резервуарах.

Известно, что сжиженные химические газы вырабатываются в небольших количествах и что многие из них (например, хлор, аммиак) являются сильнодействующими ядовитыми веществами. Поэтому число устанавливаемых горизонтальных цилиндрических резервуаров ёмкостью 25...200 м³ для хранения одного продукта чаще всего колеблется в пределах 3...5 шт.

Шаровые (сферические) резервуары обладают значительными технико-экономическими преимуществами перед цилиндрическими резервуарами. Они имеют наименьшую поверхность на единицу объёма и меньшую толщину оболочки. Расход металла для сферических резервуаров по сравнению с горизонтальными цилиндрическими меньше в два раза при одинаковых условиях хранения.

Безопасная эксплуатация газгольдеров

Газгольдеры представляют собой инженерные сооружения, предназначенные для хранения газов различного происхождения и назначения и снабжённые специальными устройствами для регулирования основных параметров хранимых материалов (количество, состав и др.).

В соответствии со своим назначением газгольдеры могут выполнять одну или несколько функций. Основными из них являются:

- длительное или кратковременное хранение газа;
- смешивание и перемешивание газов различных составов или одного газа различных концентраций;
- аккумулярование энергии давления хранимого газа;
- измерение количества вырабатываемого или добываемого газа;
- распределение газа при наполнении баллонов, цистерн и др. или при подаче его в несколько цехов;
- выравнивание давления газа в замкнутой газораспределительной системе;
- сигнализирование о стабильности установленного технологического процесса или его нарушении.

В зависимости от применяемого давления газгольдеры могут быть разделены на два основных класса:

- газгольдеры низкого давления (≤ 70 кПа) – класс 1;
- газгольдеры высокого давления (> 70 кПа) – класс 2. Предназначены для эксплуатации при рабочем избыточном давлении газа в диапазоне 0,07...3 МПа, а иногда при более высоком давлении.

Каждый из этих двух классов газгольдеров подразделяется на подклассы и типы, различающимися объёмами, конструктивной формой, материалом конструкций, положением в пространстве и т.п.

Газгольдеры высокого давления являются ёмкостями постоянного объёма. В них геометрический объём остаётся стабильным, а давление газа может быть изменено в определённых пределах, исходя из

принятой технологии, а также из условий прочности и надёжности самого сосуда.

Газгольдеры низкого давления являются ёмкостями переменного объёма, в которых объём хранимого газа легко изменяется, тогда как его давление остаётся неизменным.

Газгольдеры низкого давления, как правило, являются газгольдерами постоянного давления и по своим технологическим и конструктивным особенностям могут быть подразделены на две группы:

- 1) мокрые газгольдеры – группа I;
- 2) сухие газгольдеры – группа II.

Мокрые газгольдеры бывают двух типов:

- 1) мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими;
- 2) мокрые газгольдеры с винтовыми направляющими.

По принципу работы мокрые газгольдеры обоих типов являются газгольдерами низкого давления и переменного объёма.

Сухие газгольдеры также могут быть разделены на два основных типа:

- 1) сухие газгольдеры поршневого типа;
- 2) сухие газгольдеры с гибкой секцией (мембраной).

Сухие газгольдеры относятся к газгольдерам переменного объёма и постоянного давления газа.

Газгольдеры постоянного объёма обычно эксплуатируются при высоком давлении хранимых газов и различаются только своей геометрической формой. Давление газа в этих газгольдерах бывает переменным и возрастающим при увеличении объёма газа, подаваемого в газгольдер при помощи специальных компрессорных устройств.

По геометрической форме газгольдеры постоянного объёма также делятся на два основных типа:

- а) цилиндрические газгольдеры со сферическими днищами, располагаемые как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях;
- б) сферические (шаровые) газгольдеры, опирающиеся на отдельные стойки или на специальный стакан.

Мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими называют «мокрыми», так как в них в качестве гидрозатвора используется вода. В мокрых газгольдерах объём газа меняется довольно легко, и это является значительным их преимуществом.

Мокрый газгольдер (рис. 1.5) состоит из неподвижного резервуара 3, наполненного водой, в котором помещается подвижное звено – опрокинутый стакан-колокол 1. Газ подаётся под колокол по газоводному стояку, проходящему через днище резервуара. Упругое давление газа поднимает колокол. Вода резервуара служит гидравлическим уплотнением, препятствующим выходу газа из-под колокола, а при выпуске газа является как бы поршнем, вытесняющим газ из подвижных звеньев.

В газгольдерах больших объёмов между резервуаром и колоколом могут размещаться промежуточные подвижные звенья – телескопы 2. В зависимости от числа подвижных звеньев газгольдер называется однозвенным, когда есть одно подвижное звено – колокол, двухзвенным – когда кроме колокола есть телескоп, трёхзвенным – когда кроме колокола есть два телескопа и т.д.

При наполнении газгольдера газом происходит последовательное телескопическое выдвижение одного подвижного звена из другого и подъём их специальной конструкцией зацепления – гидрозатвором б.

С одной стороны, гидрозатворы являются соединительными зацепляющими конструкциями между подвижными звеньями, а с другой стороны, они работают как основные элементы уплотнения между звеньями. Они представляют собой кольцевые желобчатые конструкции, состоящие из нижнего гидрозатвора, наполненного водой, и обратного ему верхнего гидрозатвора, входящего вертикальным листом в воду нижнего гидрозатвора.

Когда газгольдер наполняется газом, упругое его давление поднимает сначала колокол. Вслед за колоколом, зацепившимся своим нижним гидрозатвором (зачерпнувшим воду при выходе из воды резервуара) за верхний гидрозатвор первого телескопа, первый телескоп начинает подниматься из воды, за ним после аналогичного зацепления поднимается второй телескоп и т.д. и все подвижные звенья, соединяясь последовательно в одно целое, достигают своего наивысшего положения.

При выпуске газа из газгольдера опускание подвижных звеньев происходит в обратном порядке, сначала опускается нижний телескоп, а затем верхние телескопы, последним опускается колокол.

Чтобы подвижные звенья при движении вверх (при наполнении газгольдера газом) или вниз (при выпуске газа) сохраняли своё горизонтальное положение (так как при перекосах звена возможно его заклинивание), устанавливается система выравнивающих роликов 8 – 11 (рис. 1.5). Верхние ролики размещаются на крыше колокола, на верху каждого подвижного звена и катятся по вертикальным внешним направляющим 4, закреплённым на стенке резервуара с его внешней стороны, равномерно по периметру резервуара. Высота направляющих измеряется высшим положением подвижных звеньев. Вертикальные направляющие образуют статически неизменяемую многогранную пространственную конструкцию, состоящую из собственно вертикальных внешних направляющих 4 (в виде двутавров или решётчатых ферм), соединённых друг с другом жёсткими ригелями и системой раскосных связей.

Нижние ролики установлены по низу каждого подвижного звена; двигаются они по внутренним направляющим 5, прикреплённым к внутренним поверхностям стенок последующих подвижных звеньев и резервуара.

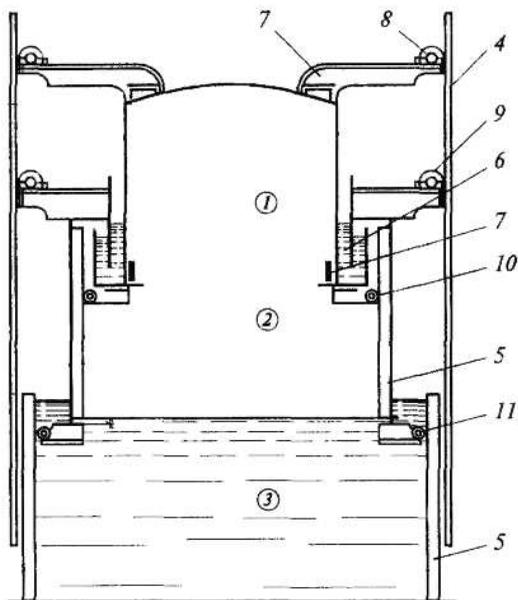


Рис. 1.5. Мокрый газгольдер:

1 – стакан-колокол; 2 – телескопы; 3 – резервуар; 4 – внешние направляющие;
5 – внутренние направляющие; 6 – гидрозатвор; 7 – груз;
8 – 11 – выравнивающие ролики

В целом система внутренних и внешних направляющих обеспечивает восприятие горизонтальных нагрузок, действующих на газгольдер (ветер, односторонний снег и т.д.), создаёт условия для нормального перемещения подвижных звеньев и передаёт внешние нагрузки через корпус резервуара на фундамент.

Давление в газгольдере поддерживается в пределах 4...5 кПа за счёт веса подвижных звеньев и специальной пригрузки этих звеньев 7.

Деление газгольдера на подвижные звенья производится с учётом ряда обстоятельств: общего габарита газгольдера, минимальной металлоёмкости, снижения стоимости строительства газгольдера в целом, способов изготовления и др.

Мокрые газгольдеры опираются на кольцевой железобетонный, обычно сборно-монолитный фундамент. В середине кольцевого фундамента устраивается искусственное песчано-грунтовое основание.

Количество вводов и выводов газа определяется в зависимости от назначения мокрого газгольдера в технологической цепи предприятия. Газгольдер может быть «буферным» (тупиковым) или работать на

«проход» газа. В зависимости от этого может изменяться количество вводов и выводов. Газоводы входят в газгольдер снизу, через днище, для чего необходимо устройство железобетонного приямка, туннеля через кольцевой фундамент и кабины над приямком для размещения аппаратуры по управлению газгольдером.

При эксплуатации резервуар газгольдера наполнен водой, ею наполнены также и гидрозатворы. В зимнее время воду в резервуаре и гидрозатворах необходимо подогревать до 5 °С. Чтобы снизить расходы на отопление (в районах с суровым зимним климатом), вокруг резервуара строят кирпичную утепляющую стенку, доходящую по высоте до кольцевой площадки резервуара.

В мокрых газгольдерах вследствие испарения воды в резервуаре газы несколько увлажняются, что не позволяет использовать мокрые газгольдеры для хранения обезвоженных газов и газов с высокой концентрацией.

Мокрые газгольдеры работают в тяжёлых коррозионных условиях, поэтому необходимо предусматривать надёжную антикоррозионную защиту их стальных конструкций.

К предохранительным устройствам мокрых газгольдеров относятся следующие элементы:

- перепускное устройство, расположенное на крыше колокола, центральная продувочная труба на центральном люке крыши колокола;
- гидравлический затвор в камере газового ввода, предназначенный для отключения газгольдера от межцеховых газопроводов во время ремонта;
- автоматическое устройство для сброса газа из газгольдера в атмосферу при его переполнении;
- блокировка положения колокола по «предмаксимуму» с автоматическим устройством с целью сброса газа «на свечу» для его сжигания (если сброс газа в атмосферу запрещён) или прекращения его подачи в газгольдер;
- молниезащита (газгольдеры для горючих газов по молниезащите относятся ко II категории опасности);
- защитное устройство от статического электричества;
- огнепреградители на трубах сброса газа в атмосферу.

Для обеспечения нормальной эксплуатации и предотвращения аварий при опорожнении и переполнении газгольдеров предусмотрены приборы дистанционного измерения объёма газа в газгольдере, ступенчатая сигнализация (световая и звуковая) положения колокола в газгольдере (т.е. степень заполнения газгольдера газом) и автоматические отключатели электродвигателя машин, забирающих газ из газгольдера при минимальном объёме газа в нём.

Причинами аварий и взрывов при эксплуатации мокрых газгольдеров для горючих газов могут быть: образование вакуума или взрывоопасных газоздушных смесей; утечка газа из газгольдера и системы трубопроводов; замерзание воды в гидрозатворе и образование ледяной корки на стенках резервуара.

Образование вакуума и, как следствие, появление остаточных деформаций металлоконструкций, разрушение стоек и кровли может произойти во время изготовления, неправильно организованных испытаний и эксплуатации газгольдера. Причинами этого могут быть неверный подбор металла, просадка основания, некачественное изготовление днища резервуара.

Взрывоопасная газоздушная смесь может образоваться внутри системы при разрежении, возникающем вследствие длительного простоя газгольдера, полного его опорожнения, усиленного отбора газа. Для предотвращения образования взрывоопасной газоздушной смеси перед пуском газгольдер продувают инертным газом, после чего заполняют рабочим газом.

Утечка газа из газгольдера и системы трубопроводов в большинстве случаев происходит при переполнении газгольдера горючим газом сверх допустимого предела. Причиной этого может быть отсутствие (или неисправность) сигнализации, срабатывающей при изменении объема газа, автоматического устройства для сброса газа в атмосферу, блокировочных устройств, автоматически прекращающих подачу газа в газгольдер при достижении максимального уровня.

Газ может просочиться через затворы при повышении давления сверх допустимого, быстром наполнении газгольдера, перекосах колокола, телескопических звеньев, утечке воды из резервуара и затворов.

С целью исключения аварийных ситуаций газгольдеры для хранения взрывоопасных газов оборудуют схемами утилизации и сжигания при внезапных сбросах газов из системы. В камерах для ввода газа устанавливают газоанализаторы взрывоопасных газов с выводом сигналов в помещение управления.

Сухие газгольдеры являются газгольдерами низкого давления, давление газа в них не превышает 4...5 кПа. Они предназначены для хранения обезвоженных газов и газов высокой концентрации.

Сухие газгольдеры имеют преимущества по сравнению с мокрыми: они не требуют устройства водяного резервуара и устройств для подогрева воды в зимнее время, в результате малого веса конструкции значительно облегчается выполнение фундамента. Сухие газгольдеры оказываются более экономичными по расходу стали на 1 м³ хранимого газа, кроме того, хранимые газы не увлажняются как в мокрых газгольдерах.

В сухих газгольдерах поршневого типа принцип работы аналогичен принципу работы поршня паровой машины. Газ под давлением

25...55 кПа, подаваемый под поршень, поднимает его вверх до предельного высшего положения; наоборот, при выпуске газа поршень своим весом вытесняет газ в трубопровод.

Практикой принято считать положение поршня сухого газгольдера в пределах наполнения 20...80% нормальным, в пределах 10...20% и 80...90% угрожающим и в пределах 0...10 и 90...100% аварийным.

Вес конструкций поршня вместе с догрузкой (железобетонными грузами) создаёт необходимое давление газа в газгольдере, равное весу поршня с догрузкой, делённому на площадь сечения корпуса газгольдера.

Чтобы избежать повреждения корпуса газгольдера или конструкции поршня при подъёме его в наивысшее положение, предусматриваются отверстия в корпусе газгольдера, через которые весь избыточный газ может беспрепятственно выходить в трубы, если только поршень поднимется выше уровня этих отверстий. Эти трубы (сбросные свечи) выведены над крышей газгольдера на 1,5...2 м. Поршень, однако, не может подняться выше этих отверстий, площадь которых позволяет выпустить весь излишний газ, поступающий в газгольдер. После прекращения подачи избыточного газа и начала расхода имеющегося газа поршень опускается, закрывая отверстия, и выпуск газа в атмосферу прекращается.

Положение, когда газ уходит в атмосферу, считается аварийным, так как выходящий газ:

- отравляет окружающую атмосферу;
- может загореться от удара молнии или разряда статического электричества. Поэтому при эксплуатации газгольдера принимаются все меры, чтобы не допустить выхода газа в атмосферу.

Сухой газгольдер (рис. 1.6) состоит из вертикального цилиндрического резервуара 1, внутри которого расположена шайба. Она имеет герметичное днище 2 и вертикальную цилиндрическую стенку 4. При пустом газгольдере шайба находится внизу и расположена на днище 3 резервуара (рис. 1.6, а). При подаче газа в газгольдер через газовод 5 шайба под давлением газа поднимается вверх (рис. 1.6, б). В качестве уплотнения между стенкой резервуара и шайбой служит гибкая секция 6 из резиноканевого материала. Секция имеет форму цилиндра и крепится одним концом к днищу шайбы, а другим – к стенке резервуара. Для предотвращения перекоса при подъёме и опускании шайбы предусмотрена выравнивающая система, состоящая из роликов 8 и канатов 9. С целью создания давления в газгольдере шайба пригружается бетонными грузами 7.

Выбор материала конструкций и расчёт газгольдеров необходимо проводить в соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП II.23–81*, СНиП 2.09.03–85, СНиП 2.01.02–85*).

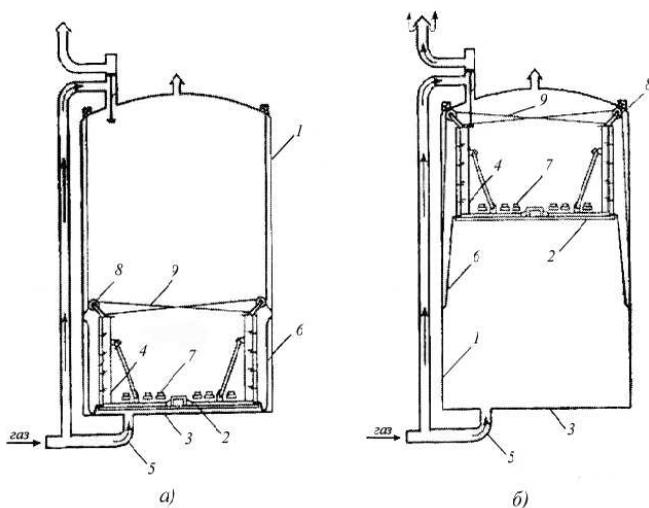


Рис. 1.6. Сухой газгольдер:

1 – резервуар; 2 – днище; 3 – днище шайбы; 4 – корпус шайбы;
5 – газоввод; 6 – гибкая секция; 7 – грузы; 8 – ролики; 9 – канаты

Газгольдеры высокого давления для горючих газов имеют сравнительно небольшую ёмкость, поскольку относятся к весьма пожаро- и взрывоопасному оборудованию. Потеря газа (утечка) при хранении в газгольдерах составляет более 2% от их оборачиваемости.

В случае утечки газа появляется возможность образования взрывоопасных газозвушных смесей, что может привести к взрыву на территории и в районе размещения газгольдеров. Поэтому к устройству складов, где хранятся сжиженные газы в газгольдерах, предъявляются повышенные требования безопасности. Установлены нормативные расстояния между отдельными газгольдерами, между группами газгольдеров и между газгольдерами и зданиями и сооружениями.

Наземные резервуары располагают группами в местах пониженных планировочных отметок площадки предприятия. Каждую группу наземных резервуаров обваловывают по периметру замкнутым валом или ограждающей стенкой из негоряемых материалов высотой не менее 1 м.

Перечень и характеристика контрольно-измерительных приборов, регулирующей, предохранительной и запорной арматуры, устанавливаемых на резервуарах для сжиженных газов, регламентируются ПБ 03-576-03 «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

Газгольдеры снабжаются предохранительными клапанами, манометрами для замера давления паровой фазы, указателями уровня и сигнализаторами предельного верхнего уровня жидкой фазы, термометрами для контроля температуры жидкой фазы, запорными органами для отключения резервуара от трубопроводов для приёма и отпуска сжиженных газов, отсоса и подачи паровой фазы, отбора проб жидкой и паровой фаз, люками для входа обслуживающего персонала в резервуар и его вентиляции, устройствами для вентиляции и продувки инертным газом, паром или воздухом и устройствами для удаления из газгольдера промывных стоков воды и тяжёлых остатков.

Изотермические хранилища для сжиженных газов оснащают насосами для перекачки газов и холодильной установкой.

При низкотемпературном изотермическом хранении сжиженных газов снижение давления паров хранимых продуктов достигается путём охлаждения их до температуры кипения. В таком состоянии сжиженные газы можно хранить при атмосферном давлении.

Преимуществами низкотемпературного изотермического хранения являются: уменьшение геометрических размеров резервуара (в связи с повышением плотности продукта при низкой температуре); отсутствие потерь продукта в результате испарения; хранение продукта при постоянных параметрах; уменьшение пожаро- и взрывоопасности газов.

Низкая температура оказывает ингибирующее действие на интенсивность процесса горения, если оно вдруг начнётся. При низкотемпературном изотермическом хранении снижается и вероятность утечки сжиженных углеводородных газов, что также уменьшает вероятность пожара и взрыва.

В процессе изотермического хранения под давлением сжиженные газы периодически захлаживают, в результате чего можно использовать холодильные установки меньшей мощности. Средства контроля и автоматизации обеспечивают измерение необходимых параметров продукта, хранящегося в резервуаре (расход, давление, температура и уровень), сигнализацию заданного эксплуатационного режима, защиту газгольдера от переполнения и повышения уровня вакуума, измерение напряжения в корпусе газгольдера.

1.4.4. 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 следует отметить следующие:

– все движущиеся и передаточные механизмы (клиноремённые передачи, муфты и т.д.) должны иметь ограждения, предохраняющие доступ к ним во время работы;

– при обработке вредных продуктов должно обеспечиваться хорошее уплотнение валов, разъёмных 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 разряжение.

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 *щёковых 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 рукавицами, 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 защищён 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 более установленного предела может нарушиться технологический процесс, возникнуть дополнительные напряжения в элементах машины, что приведёт 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; надёжность крепления всех узлов; состояние ограждения гидромурфты, шкива и ремней.

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

1.4.5. Безопасная эксплуатация теплообменных аппаратов

Организация теплообмена, выбор теплоносителя (хладагента) и его параметров осуществляются с учётом физико-химических свойств нагреваемого (охлаждаемого) материала в целях обеспечения необходимой теплопередачи, исключения возможности перегрева и разложения продукта.

В теплообменном процессе не допускается применение теплоносителей, образующих при химическом взаимодействии с технологической средой взрывоопасные продукты.

При разработке процессов с передачей тепла через стенку предусматриваются методы и средства контроля и сигнализации о взаимном проникновении теплоносителя и технологического продукта в случае, если это может привести к образованию взрывоопасной среды.

В том случае, когда снижение уровня нагреваемой горючей жидкости в аппаратуре и оголение поверхности теплообмена могут привести к перегреву, высушиванию и разложению горючего продукта, развитию неуправляемых процессов, предусматриваются средства контроля и регулирования процесса, а также блокировки, прекращающие подачу греющего агента при понижении уровня горючего нагреваемого продукта ниже допустимого значения.

В поверхностных теплообменниках давление негорючих теплоносителей (хладагентов) должно, как правило, превышать давление нагреваемых (охлаждаемых) горючих веществ. В случаях невозможности выполнения этого требования необходимо предусматривать контроль за содержанием горючих веществ в негорючем теплоносителе.

В теплообменных процессах, в том числе и реакционных, в которых при отклонениях технологических параметров от регламентированных возможно развитие неуправляемых, самоускоряющихся экзотермических реакций, предусматриваются средства, предотвращающие их развитие.

В теплообменных процессах, при ведении которых возможна кристаллизация продукта или образование кристаллогидратов, предусматривается ввод реагентов, предотвращающих образование этих продуктов, применяются и другие меры, обеспечивающие непрерывность, надёжность проведения технологических процессов и их взрывобезопасность.

Безопасная работа теплообменников предполагает:

- контроль давления и температуры в теплообменниках, исключая повышение их более 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 следует держать приоткрытыми так, чтобы температура поверхности отводящей трубы составляла примерно 50 °С;
- контроль качества тепловой изоляции теплообменников, так как обнажённые 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 нём температурных напряжений. Недопустимо переполнение закрытого сосуда жидкостью.

1.4.6. Безопасная эксплуатация массообменных колонных аппаратов

В процессе эксплуатации корпуса аппаратов подвергаются механическому и коррозионному износу и постепенно теряют надёжность. 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, утверждёнными Ростехнадзором, предусматривается, в частности, снабжение аппарата приборами для измерения давления и температуры среды, предохранительными устройствами и запорной арматурой. Аппарат, работающий при изменяющейся температуре стенок, должен быть снабжён 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 ещё 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.

При разработке и проведении массообменных процессов, в которых при отклонениях технологических параметров от регламентированных значений возможно образование неустойчивых взрывоопасных соединений, для объектов с технологическими блоками I и II категории взрывоопасности должны предусматриваться средства автоматического регулирования этих параметров.

Для объектов с технологическими блоками III категории взрывоопасности допускается выполнение операций регулирования вручную (производственным персоналом) при обеспечении автоматического контроля указанных параметров процесса и сигнализации о превышении их допустимых значений.

В колоннах, работающих под разрежением, в которых обращаются вещества, способные образовывать с кислородом воздуха взрывоопасные смеси, предусматривается автоматический контроль за содержанием кислорода в парогазовой фазе. Для объектов с технологическими блоками III категории взрывоопасности допускается предусматривать методы и средства периодического контроля; периодичность и способы контроля регламентируются.

Колонны ректификации горючих жидкостей оснащаются средствами контроля и автоматического регулирования уровня и температуры жидкости в кубовой части, температуры поступающих на разделение продукта и флегмы, а также средствами сигнализации об опасных отклонениях значений параметров, определяющих взрывобезопасность процесса, и при необходимости перепада давления между нижней и верхней частями колонны.

В тех случаях, когда прекращение поступления флегмы в колонну ректификации может привести к опасным отклонениям параметров процесса, предусматриваются меры, обеспечивающие непрерывность подачи флегмы.

При проведении процессов адсорбции и десорбции предусматриваются меры по исключению самовозгорания поглотителя, а также по оснащению адсорберов средствами автоматического контроля за очагами самовозгорания и устройствами для их тушения.

1.4.7. 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 фильтрования газа через слой катализатора необходим определённый 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 подъёмных механизмов.

В реакторах с гранулированным *движущимся слоем катализатора* главной опасностью является прорыв контактного газа из реактора в регенератор через транспортную систему. Эта опасность предотвращается путём 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 зёрен 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 объёмом 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 надёжности 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 вентилей, 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 создаётся в результате реакции, кроме инспекторских испытаний подвергаются испытаниям на герметичность после каждого вскрытия аппарата. Эти испытания проводят давлением воздуха или инертного газа.

1.4.8. Безопасная эксплуатация сушилок и технологических печей

В *сушилках непрерывного действия* места выгрузки и загрузки твёрдых 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 сушат 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 решётками, 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 смонтированными спринклерными головками, автоматически срабатывающими при температуре 182 °С. Трубопроводы парового пожаротушения размещены под верхними ветвями конвейеров. Пар в них подаётся при открывании одного из двух запорных вентилей, расположенных у приёмного бункера сушилки и под площадкой привода конвейера. Выходя через отверстия в трубах, пар заполняет рабочий объём 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 раскалённых стенок печи. Для защиты печей от разрушений при небольших взрывах в торцовых 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 ёмкости и спусковые линии, соединённые с аварийной ёмкостью, 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 по-

зволяют 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.

1.4.9. Основы безопасности при монтажных и ремонтных работах

Монтаж оборудования включает множество трудоёмких операций, выполнение которых связано с применением различных машин, механизмов, приспособлений и инструментов. Безопасные условия работы обеспечиваются только при безоговорочном выполнении утверждённых 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 объём 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 искрообразования.

Всем участвующим в монтаже необходимо иметь надёжную 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 подъёма оборудования все операции выполняются по команде только одного человека.

Подъём или спуск оборудования нужно тщательно подготовить и начать с таким расчётом, чтобы он был завершён 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.

Подъём и спуск грузов запрещаются при скорости ветра более 11 м/с, при гололедице. При подъёме нельзя переключать скорость тракторных лебёдок и заглушать двигатели. Рывки и толчки при некавалифицированном 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 ре-

монтажу, т.е. в ходе разборки аппаратуры и коммуникаций, при наличии в них огне- и взрывоопасных 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.

1.5. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Режимные параметры оборудования, определяющие безопасность производства в целом, зависят от особенностей технологического процесса, типа оборудования, его назначения, рабочей среды. Для аппаратов и трубопроводов такими параметрами являются также рабочее давление и температура. Для машин, кроме того, необходимо соблюдать установленные паспортом мощность и частоту вращения. В некоторых производствах, связанных с агрессивными средами, важное значение имеет скорость коррозии металла.

Температура среды в оборудовании задаётся в соответствии с тепловым режимом процесса. Допустимые отклонения от номинальной температуры устанавливаются технологическим регламентом. Регулирование температуры процесса возможно изменением скорости и температуры тепло- или хладоагента, расхода и температуры компонентов исходного сырья и т.д. Если в результате принятых мер не удаётся восстановить нормальную температуру процесса, то должны быть приняты меры к экстренной (аварийной) остановке оборудования или производства в целом. При этом вступают в работу системы автоматической аварийной остановки, срабатывают отсекающие клапаны, прекращающие подачу в аппарат компонента, стимулирующего нарушение температурного режима, и одновременно подключаются коммуникации для эвакуации содержимого аппарата в аварийные ёмкости.

Весьма важным условием является компенсация температурных деформаций (особенно для аппаратов большой длины и трубопроводов большой протяжённости). При этом технические решения по обеспечению компенсаций разрабатываются применительно к конкретному оборудованию.

Многие технологические процессы проводятся под избыточным давлением. Различают избыточное давление условное, пробное и рабочее.

Под условным давлением понимается наибольшее давление при температуре среды 20 °С, при котором допустима длительная работа оборудования и деталей трубопровода. Пробное давление – это давле-

ние, при котором должно проводиться гидравлическое испытание на прочность. Рабочее же давление – наибольшее значение давления, обеспечивающего заданный режим эксплуатации. ГОСТ и другие нормативные документы устанавливают соотношения между этими давлениями в зависимости от конкретных условий.

Причинами непредусмотренного процессом повышения давления в аппаратах могут быть: повышение температуры среды, нарушение стабильности качественного и количественного состава сырья, закупорка отходящих от аппарата коммуникаций, неисправность регуляторов давления на стороне нагнетания насосов или компрессоров, нарушение правильной порционной дозировки (при периодических процессах) компонентов сырья и интенсивности перемешивания среды и др.

Повышение давления приводит либо к разгерметизации оборудования, либо к его взрыву. Степень опасности аварии оборудования из-за повышения давления зависит от давления взрыва, рабочего объёма среды и его токсичных и пожароопасных свойств.

Поскольку в производственных условиях возможны отклонения от заданного режима, необходимо непрерывно контролировать и поддерживать установленные параметры процесса. Этой цели служат автоматические дозаторы, регуляторы температуры среды и уровня жидкости в аппарате, регуляторы давления и т.д. На случай отказа приборов управления и регулирования технологические аппараты снабжаются системами противоаварийной защиты, в том числе предохранительными устройствами.

1.6. ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Даже самые совершенные начальные технические характеристики оборудования – необходимые, но ещё недостаточные условия его высокого качества. Они показывают, по существу, лишь его технические возможности. Любое оборудование должно быть надёжным и безопасным в процессе эксплуатации.

Под надёжностью оборудования понимается его комплексное свойство выполнять заданные функции, сохраняя свои основные эксплуатационные характеристики в установленных пределах. В это понятие входят безотказность, долговечность и ремонтпригодность. Показателями надёжности являются вероятность безотказной работы оборудования, срок службы, наработка на отказ и т.д.

Снижение надёжности оборудования может привести к постепенному нарушению технологического процесса – постепенному отказу, ухудшению качественных и количественных показателей системы. Безотказность, или свойство оборудования непрерывно сохранять ра-

ботоспособность, оценивается по результатам анализа фактических параметров работы оборудования (производительности, температуры, давления, потребляемой мощности, расхода сырья и выхода целевого продукта с учётом его качественных показателей) между двумя последовательными ремонтами.

Нарушение технологического процесса или параметров работы оборудования как случайное событие в теории надёжности рассматривается как отказ, т.е. потеря работоспособности соответственно процесса или оборудования. По причине нарушения параметров работы возможны два типа отказов оборудования: постепенные (износные) и внезапные (катастрофические). Аварии (взрывы, пожары и т.п.) – результат внезапных отказов. Основная задача, связанная с повышением безопасности оборудования, заключается в регулировании, вплоть до полной ликвидации, износных отказов, и создании условий для проявления минимального числа внезапных отказов, их лёгкого и быстрого устранения.

Важным элементом, характеризующим надёжность оборудования, является его ремонтпригодность – вероятность того, что работоспособность может быть восстановлена ремонтом. Показателями ремонтпригодности служат средняя продолжительность восстановления, система технического обслуживания, периодичность ремонтов, их трудоёмкость. Своевременное и правильное установление степени износа и усталости металла оборудования и его элементов является важным условием предотвращения аварий и обеспечения безопасности.

Надёжность оборудования рассчитывают и закладывают при проектировании, обеспечивают при изготовлении и поддерживают в условиях эксплуатации.

При проектировании оборудования необходимо применительно к условиям эксплуатации выбирать конструкцию оптимальных форм и размеров, требуемой механической прочности и герметичности, выполненную по возможности из стандартизованных и унифицированных узлов и деталей.

Большое значение имеет выбор конструкционных материалов с учётом условий эксплуатации оборудования: давления, температуры, агрессивного воздействия среды и др. При проектировании оборудования стремятся к упрощению кинематических схем, уменьшению действующих в машинах динамических нагрузок, применению средств защиты от перегрузок и т.д.

В процессе изготовления оборудования реализуются все основные пути создания этого оборудования надёжным в определённых условиях эксплуатации. К ним относятся: получение заготовок высокого качества; качественное изготовление и сборка оборудования; повышение точности изготовления деталей; упрочняющая обработка материалов для обеспечения высокого сопротивления износу деталей в условиях эксплуатации и т.д.

В процессе эксплуатации надёжность оборудования поддерживается строгим соблюдением заданных параметров рабочего режима, качественным обслуживанием и своевременным проведением профилактических работ по поддержанию работоспособности оборудования.

Одним из методов повышения надёжности является *резервирование*, т.е. введение в систему добавочных (дублирующих) элементов, включаемых параллельно основным, что способствует созданию систем, надёжность которых выше надёжности любых входящих в них элементов. При выходе из строя одного из элементов дублёр выполняет его функции и узел не прекращает своей работы. Наряду с достоинствами резервирование имеет и недостатки: оно усложняет оборудование, удорожает его обслуживание и поэтому не всегда экономически выгодно. Использовать резервирование целесообразно лишь в том случае, когда отсутствуют более простые способы повышения надёжности технологического оборудования.

Для повышения надёжности отдельных единиц оборудования и технологических систем в целом используются также техническая диагностика и техническое обслуживание.

Техническая диагностика объектов представляет собой техническую операцию получения и обработки информации о состоянии объектов во времени с целью обнаружения фактов существования отказов и установления причин возникновения или мест появления отказов.

Техническое обслуживание – это совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на предупреждение отказов, обеспечение исправного состояния в процессе эксплуатации и готовности объектов к использованию. Основными задачами технического обслуживания являются: предупреждение ускоренного износа и старения; поддержание основных технических характеристик элементов на заданном уровне; продление межремонтных сроков эксплуатации.

Техническое обслуживание позволяет поддерживать и восстанавливать требуемый уровень надёжности объектов за счёт организации периодических проверок состояния объектов, замены и ремонта некоторых элементов, регулировки параметров и устранения выявленных неисправностей. В состав технического обслуживания входят эксплуатационный уход и мелкий ремонт оборудования. Эксплуатационный уход – это чистка, регулярный наружный осмотр, смазка, проверка состояния масляных и охлаждающих систем, подшипников, наблюдение за состоянием крепёжных деталей и соединений, проверка состояния заземления и др. Мелкий ремонт оборудования – устранение мелких дефектов, подтяжка крепёжных деталей, частичная регулировка, замена предохранителей, прокладок, проверка общего состояния изоляции и др.

В соответствии с особенностями повреждений, выявленных в процессе технического обслуживания и износа составных частей обо-

рудования с целью восстановления неисправностей и работоспособности объекта, осуществляются *ремонтные работы*. Ремонт, состоящий в замене и восстановлении отдельных частей оборудования и их регулировке, считается текущим. Ремонт, осуществляемый для восстановления исправности и ресурса работы объекта с заменой или восстановлением любых его частей, включая основные, и их регулировкой, называется капитальным.

1.7. ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ

В процессе эксплуатации металлические конструкционные материалы подвергаются коррозии. Ущерб, приносимый коррозией металлов, связан не только с технологическими потерями, но и выходом из строя металлических конструкций, химических аппаратов, машин, поскольку нарушается их прочность, герметичность, что в конечном итоге может привести к авариям.

По механизму коррозионного действия различают химическую и электрохимическую коррозию. Химическая коррозия вызывается непосредственным воздействием на металл агрессивной среды: кислот, щёлочей, сухих газов (главным образом при высоких температурах).

Электрохимическая коррозия представляет собой взаимодействие металла с раствором электролита, при которой происходит ионизация атомов металла и переход катионов металла в раствор (анодный процесс), а освобождающиеся электроны связываются окислителем (катодный процесс).

Основным показателем скорости коррозии является коррозионная проницаемость, т.е. глубина разрушения металла, выражаемая в миллиметрах в течение года (мм/год). Коррозионную стойкость оценивают по специальной шкале, имеющей десять групп стойкости: к первой группе «совершенно стойкие материалы» относятся материалы со скоростью коррозии менее 0,001 мм/год, к десятой группе «нестойкие материалы» – со скоростью коррозии более 10 мм/год.

Ниже приведены максимально допустимые значения коррозионной проницаемости материалов для изготовления аппаратуры и оборудования:

Оборудование	Коррозионная проницаемость, мм/год
Воздуховоды	0,05
Любые аппараты и машины	0,1
Менее ценная аппаратура несложной конструкции (ёмкости, мерники, отстойники)	0,3
Материальные трубопроводы	0,5
Сменные детали (мешалки, детали насосов, вентиляторы, крышки аппаратов)	1,5

Для изготовления аппаратов, предназначенных для работы с коррозионноактивными веществами и/или при высоких температурах, применяют легированные стали. Согласно ГОСТ 5632–72 в зависимости от основных свойств эти стали подразделяют на три группы:

– коррозионностойкие (нержавеющие) стали, обладающие стойкостью против химической и электрохимической коррозии (08X13, 12X18H10T, 14X17H2);

– жаростойкие (окалиностойкие) стали, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температуре выше 550 °С и работающие в слабонагруженном состоянии (15X25T, 20X23H13 и др.);

– жаропрочные стали, работающие при высоких температурах в нагруженном состоянии и обладающие при этом достаточной окалиностойкостью (20X13, 20X13H18 и др.).

Рекомендации по оптимальному применению различных материалов в условиях конкретных производств приводятся в справочной литературе.

Эффективная защита технологического оборудования, сооружений от химической коррозии осуществляется за счёт:

а) применения конструкционных материалов с коррозионной проницаемостью не более 0,1 мм/год;

б) использования антикоррозионных покрытий (иногда аппараты изготавливают двухслойными: внутренний слой – из высоколегированной стали, а наружный – из низколегированной);

в) выбора оптимальных режимов эксплуатации и конструкции элементов химических аппаратов, исключающих возможность местных перегревов, возникновения застойных зон, которые могут усилить коррозию;

г) применения для замедления скорости коррозии специальных ингибиторов (так, скорость растворения стали в соляной кислоте в присутствии ингибитора ПБ4 снижается в 20...300 раз).

Для борьбы с электрохимической коррозией аппаратов, емкостей, подземных трубопроводов применяются методы катодной и протекторной защиты. При катодной защите пользуются постоянным током от специального внешнего источника (рис. 1.7).

Защищаемый объект (в данном случае трубопровод *1*) присоединяют к отрицательному полюсу источника постоянного тока *3* (станция постоянного тока или аккумулятор) и он становится катодом. Положительный полюс источника тока присоединяют к специальному заземлителю *5*, играющему роль анода. Создаётся замкнутая электрическая цепь: источник тока–анод–земля–катод источник тока. При этом происходит постепенное разрушение анода (заземлителя) и предотвращается стекание тока в землю с трубопровода (электрохимическая коррозия трубопровода).

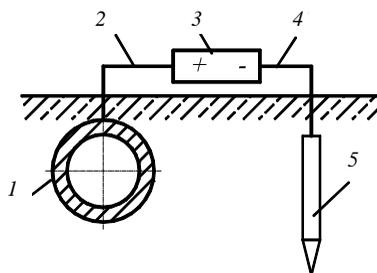


Рис. 1.7. Принципиальная схема катодной защиты:
 1 – защищаемый трубопровод; 2, 4 – дренажные кабели;
 3 – источник электрического тока; 5 – анодное заземление

В некоторых случаях (защита от коррозии ёмкостей, подземных трубопроводов, кабелей и других подземных сооружений) используется протекторная защита, являющаяся по принципу действия вариантом катодной защиты. Сущность протекторной защиты можно объяснить на следующем примере: если в стальной аппарат, содержащий электролит, поместить цинковую пластину, то именно она, а не стенка аппарата, станет анодом и будет разрушаться, а стенка аппарата сохранится. Этот метод прост в технической реализации и эксплуатации и не требует постоянного обслуживания (кроме периодической замены пластинки – протектора).

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 класс – вещества чрезвычайно опасные;
- 2 класс – вещества высокоопасные;
- 3 класс – вещества умеренно опасные;
- 4 класс – вещества малоопасные.

Под герметичностью понимают непроницаемость оболочки (корпуса) оборудования, отдельных её элементов, их соединений для газов, паров, жидкостей и пылей.

Герметичность оборудования характеризуется количеством выходящих из аппарата (или засасываемых в него при вакууме) жидкости, паров или газов в единицу времени. Количественно герметичность принято определять степенью герметичности ΔP , представляющей собой процентное отношение конечного давления в аппарате (трубопроводе) к начальному в нём давлению, отнесённым к единице времени:

$$\Delta P = \frac{100}{\tau} \left(1 - \frac{P_k T_n}{P_n T_k} \right), \%$$

где P_k, P_n – конечное и начальное давление в аппарате; T_n, T_k – температура в начале и в конце испытания; τ – время испытания, ч.

Утечки зависят от характера и размеров неплотностей в оборудовании, пористости материала, разности давлений снаружи и внутри аппарата, величины удельных давлений, создаваемых на соприкасающихся поверхностях, физических свойств рабочей среды, способов соединения отдельных элементов оборудования.

Соединения между отдельными частями оборудования могут быть неподвижными и подвижными. Неподвижные соединения подразделяются на неразъемные и разъемные.

Неразъемные соединения осуществляются сваркой, реже пайкой, развальцовкой, чеканкой, применением специальных цементов и герметиков. Неразъемные соединения, особенно изготовленные сваркой, обладают высокой герметичностью, но не всегда их можно применить. Когда по условиям технологии требуется частая разборка аппаратуры и трубопроводов для чистки, проверки, замены, применяют фланцевые или резьбовые разъемные соединения.

2.1.1. Уплотнение валов аппаратов

Для герметизации разъёмных соединений применяют беспрокладочные уплотнения или уплотнения с прокладками. Силы упругой деформации используются в беспрокладочных соединениях с тщательно пришлифованными поверхностями. Сюда относятся линзовые уплотнения, используемые в аппаратах высокого давления (до 200 МПа), а также плоские, конические и сферические уплотнения сёдел и клапанов в запорной и регулировочной арматуре. Под действием осевых сил в месте касания двух поверхностей возникает поясok деформации материала, который и создаёт необходимое уплотнение.

Принцип действия разъёмного соединения, уплотняемого прокладкой, основан на пластической деформации материала прокладки. Степень герметизации зависит от степени сжатия прокладки. Прокладки должны обладать хорошей деформируемостью, достаточной упругостью, быть устойчивыми при рабочих температуре и давлении, а также в коррозионной среде. Рекомендации по выбору материала прокладки в зависимости от условий эксплуатации представлены в табл. 2.1.

2.1. Материалы уплотнительных прокладок

Материал	Рабочая среда	Давление, МПа	Температура, °С
Сталь нержавеющая	Пищевые продукты	20	200
Медь	Нефтепродукты, газы неагрессивные, вода, пар	40	300
Свинец	Агрессивные среды	Без ограничения	200
Паронит	Вода, пар, нефтепродукты, масла, щёлочи, газы, спирт, серная кислота	5	450
Резина	Вода, пищевые жидкости, неагрессивные масла	2,5	- 30...+90
Фторопласт	Вода, воздух, щёлочи, кислоты	1	-195...+260
Асбест	Растворители, нефтепродукты, кислоты, агрессивные газы	3	450

Герметичность соединения возрастает с увеличением удельного давления на прокладку. Этим в значительной мере определяется выбор уплотнительной поверхности фланцев. Например, плоские фланцы с уплотнительными канавками используют в основном для соединения аппаратов и трубопроводов, работающих с нетоксичными и негорючими средами при давлениях до 2,5 МПа. При более высоких давлениях, а также при работе с ядовитыми и взрыво- и пожароопасными веществами и вакууме применяют торцовые поверхности фланцев, по типу «выступ-впадина» или «шип-паз».

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

Торцовые уплотнения позволяют практически полностью предотвратить утечки рабочей среды из аппарата или попадание воздуха внутрь аппарата. Торцовые уплотнения обеспечивают высокую герметичность, если радиальное и угловое биение вала аппарата, а также смещения неподвижных деталей корпуса уплотнения относительно оси вала не превышают 0,2 мм и 0,25° соответственно. Большое значение имеет выбор материала трущихся пар: одно из колец изготавливают из более мягкого материала, например, графита, другое – из более твёрдого (стали, керамика). Торцовые уплотнения могут быть одинарными или двойными, являющимися комбинацией двух одинарных. Обычно в торцовые уплотнения подаётся затворная жидкость давлением, превосходящим давление запираемой среды на 50...100 кПа. Затворная жидкость одновременно обеспечивает охлаждение и смазку деталей уплотнения. В качестве затворной жидкости применяют обессоленную воду, масло или другие жидкости, химически совместимые с рабочей средой, но нетоксичные и невзрывоопасные. Температура затворной жидкости на выходе из уплотнения не должна превышать 80 °С.

Преимуществами торцовых уплотнений являются высокая степень герметичности, небольшие потери мощности на трение (10...50% от мощности, потребляемой сальниковыми уплотнениями), способность работать в большом диапазоне давлений (от глубокого вакуума до 45 МПа) при температуре до 450 °С и др.

Вместе с тем торцовые уплотнения характеризуются высокой стоимостью, сложностью конструкции, трудоёмкостью монтажа и ремонта, трудностью подбора материала для пар трения.

Для уплотнения валов вертикальных аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и вредные среды, наибольшее применение нашли торцовые уплотнения типа Т4 (ГДП) – двойное с подшипниковой опорой уплотняемого вала. Не рекомендуется применять уплотнения типа Т2 (ТСК) – одинарное с металлическим сильфоном

для аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и вредные среды при избыточном давлении. Уплотнения типа Т1 (ТТ) – двойное с металлическим сильфоном применяют в аппаратах, где требуется стерильность технологического процесса, например в биохимическом производстве.

В химической промышленности торцовые уплотнения применяются не только для реакторов, но и для центробежных насосов. Торцовое уплотнение для герметизации аппаратов при отсутствии токсичных взрывоопасных коррозионных сред при высоких температурах представлено на рис. 2.1. Кольцо 2 получает вращение от вала через водило 4, состоящее из двух половинок, стягивающих вал, и через шпильки 3. Неподвижное кольцо 7 соединено с сильфоном 8. Тяги 6 с пружиной 5 дают возможность регулировать силу поджатая колец 2 и 7, сильфон 8 позволяет компенсировать биение вала.

Уплотнение (рис. 2.1) работает при давлении $2 \cdot 10^3 \dots 1,6 \cdot 10^6$ Па, температуре до $250 \text{ }^\circ\text{C}$ и частоте вращения до 10 с^{-1} .

Радиальное и угловое биения вала аппарата в зоне торцового уплотнения, а также смещения неподвижных деталей корпуса уплотнения относительно оси вала не должны превышать $0,2 \text{ мм}$ и $0,25^\circ$ соответственно.

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

Диаметр вала, мм	40	50	65	80	95	110	130
Утечки, $\text{см}^3/\text{ч}$	4	5	6,5	8	9,5	11	13

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

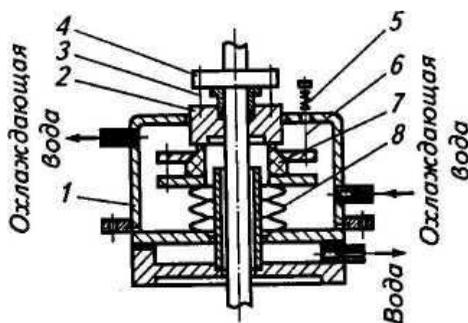


Рис. 2.1. Торцовое уплотнение:

1 – корпус; 2 – вращающееся кольцо; 3 – шпильки; 4 – водило; 5 – пружина;
6 – тяга; 7 – неподвижное кольцо; 8 – сильфон

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

Схему обвязки с принудительной циркуляцией уплотняющей жидкости (рис. 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 подаётся в уплотнение специальным насосом или централизованно из общей магистрали. Для сглаживания пульсаций давления и поддержания работоспособности уплотнения при кратковременных остановках насоса в схему обвязки включён ресивер.

В целях повышения надёжности 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.

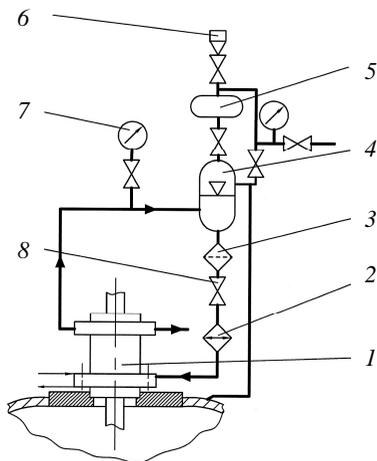


Рис. 2.2. Схема обвязки торцового уплотнения с естественной циркуляцией запирающей жидкости:
 1 – камера торцового уплотнения; 2 – теплообменник; 3 – фильтр;
 4 – пневмогидроаккумулятор; 5 – бак; 6 – воронка;
 7 – манометр; 8 – запорная арматура

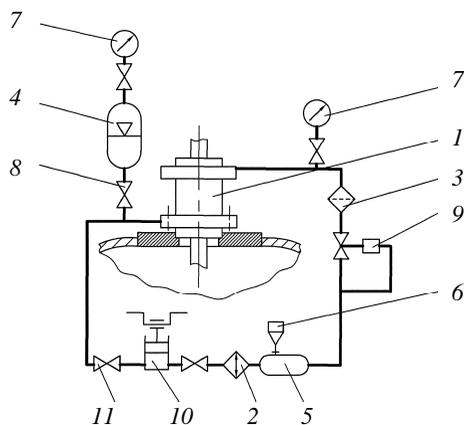


Рис. 2.3. Схема обвязки торцового уплотнения с принудительной циркуляцией уплотняющей жидкости:
 1 – камера торцового уплотнения; 2 – теплообменник; 3 – фильтр;
 4 – пневмогидроаккумулятор; 5 – бак; 6 – воронка; 7 – манометр; 8 – запорная арматура; 9 – регулирующий клапан; 10 – насос; 11 – обратный клапан

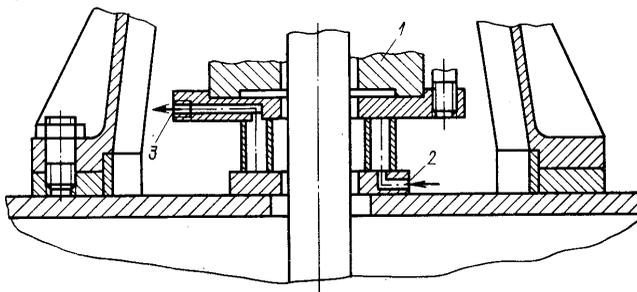


Рис. 2.4. Охлаждающее устройство торцевого уплотнения:

1 – корпус торцевого 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 ТЗ (с давлением 0,6 МПа), Т5 и Т6; 0,85 МПа – для уплотнений типов ТЗ (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 торцевых 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, отнесённые к четвёртому классу вредности. Применение сальниковых уплотнений для аппаратов, содержащих вредные вещества, отнесённые 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.

Сальниковые уплотнения применяются на аппаратах, содержащих нейтральные, невзрывоопасные и нетоксичные среды с относительно невысокой температурой. Их используют также для уплотнения арматуры (вентилей, задвижек).

Сальниковые набивки изготавливаются из легкодеформируемых материалов, обладающих при этом достаточной упругостью: пеньки, асбеста, резины, полиэтилена, фторопласта. Набивку из пеньки, асбеста и других волокнистых материалов пропитывают смазочными маслами, графитом, парафином. Выбор материала набивки определяется

температурой и давлением в аппарате, свойствами герметизируемой среды. Толщина слоя набивки S должна быть не менее 3...4 мм. Среднее значение определяется зависимостью

$$S = (1,5...2,5)\sqrt{d} ,$$

а его высота

$$h \approx d + 2S .$$

Обслуживание сальниковых устройств заключается в их подтяжке, замене набивки для компенсации износа, в поддержании нормальной смазки набивки.

Для улучшения герметичности сальниковых уплотнений используют пружины (путём увеличения прижимной силы) или давление инертного газа. Но такие уплотнения сложны по устройству.

Появление *лабиринтных бесконтактных уплотнений* вызвано недостатками контактных (сальниковых, торцовых и др.) уплотнений: значительным износом трущихся частей, потерями энергии на трение, трудностями отвода тепла трения из зоны уплотнения, необходимостью постоянного наблюдения за состоянием уплотнений в процессе их эксплуатации. Некоторые из этих недостатков устраняются в лабиринтных уплотнениях (рис. 2.6).

Принцип действия лабиринтного уплотнения основан на потерях энергии при движении среды в зазорах и расширительных камерах, образуемых между движущимися и неподвижными деталями уплотнения, которые не соприкасаются между собой. Протекающие через зазоры жидкость или газ подвергаются дросселированию, теряют скорость и давление, причём конечная утечка среды может быть практически приемлемой для заданных условий эксплуатации или может быть вовсе прекращена запирающим противодействием.

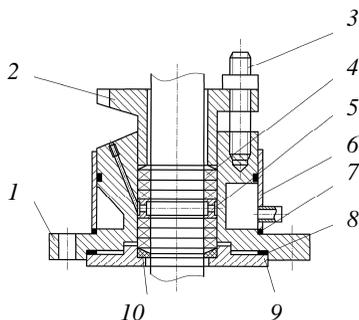


Рис. 2.5. Сальниковое уплотнение:

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

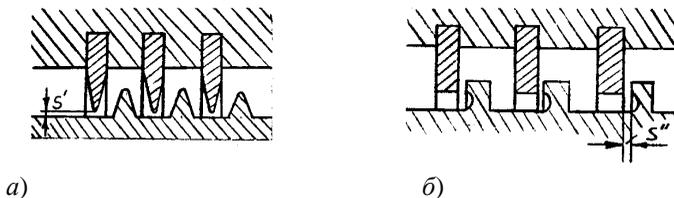


Рис. 2.6. Схема лабиринтного уплотнения:
a – с радиальной щелью; *б* – с осевой щелью

Лабиринтные уплотнения применяют при больших скоростях вращения валов и высокой температуре среды, например в компрессорах, насосах, газодувках, турбинах. Недостатком лабиринтных уплотнений является утечка продукта при прекращении вращения вала, что ограничивает их применение для взрывоопасных и токсичных веществ. Этот недостаток может быть устранён комбинированием бесконтактных уплотнений с уплотнениями контактного типа.

В производствах, связанных с применением особо взрывоопасных или сильнодействующих ядовитых веществ, когда утечки продуктов должны быть полностью исключены, используют полностью герметизированные машины и аппараты, в которых предусмотрен бесконтактный метод передачи движения, например с помощью экранированного электродвигателя (рис. 2.7).

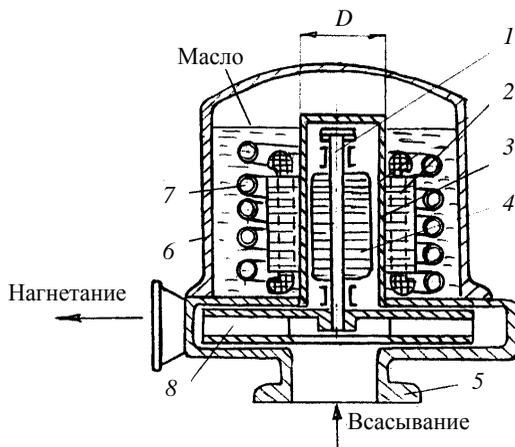


Рис. 2.7. Схема бессальникового герметичного центробежного насоса:
1 – вал электродвигателя; *2* – статор; *3* – экран из немагнитного материала;
4 – ротор электродвигателя; *5* – корпус насоса; *6* – колпак;
7 – змеевик для охлаждающей воды; *8* – рабочее колесо насоса

На вал 1 насаживается ротор 4 асинхронного электродвигателя. Статор электродвигателя 2 отделяется от ротора 2 экраном 3 из немагнитного материала (аустенитовой стали, нихрома и др.). Экран 3 герметично прикрепляется к корпусу 5 насоса. Обмотка статора охлаждается маслом, находящимся в колпаке 6; масло в свою очередь охлаждается водой, пропускаемой через змеевик 7. Рабочее колесо 8 вращается под действием магнитного поля, передающего крутящий момент через экранированную гильзу. Таким образом, вращающийся вал не выходит из корпуса аппарата, и, следовательно, не требуются уплотнения.

Применение экранированных электродвигателей позволяет герметизировать оборудование многих видов: центрифуги, мешалки, реакторы и др. Они являются в ряде случаев единственно приемлемыми.

2.1.2. Испытание оборудования на герметичность

Технологическое оборудование, в котором обращаются горючие, взрывоопасные или токсичные газы (или жидкости) под давлением, испытывают на герметичность в соответствии с действующими нормативными документами.

Пневматические испытания на герметичность заключаются в создании в аппарате или трубопроводе максимально разрешённого рабочего давления и контроля его падения в течение не менее 4 часов при периодической проверке и 24 часов для вновь устанавливаемых аппаратов. Вновь устанавливаемое оборудование считается выдержавшим испытание на герметичность, если падение давления в нём за 1 час не превышает 0,1% при пожаро- и взрывоопасных средах. В оборудовании, подвергающемся повторному испытанию, допускается падение давления до 0,5% в час.

Порядок подготовки и проведения испытаний трубопроводов не отличается от принятого для технологического оборудования. При этом цеховые трубопроводы испытывают совместно с оборудованием цеха. При испытании цеховых и межцеховых трубопроводов для разных сред допускается следующее падение давления (в % от испытательного) (табл. 2.2):

2.2. Падение давления при испытании

Трубопроводы	Токсичные газы	Другие взрывоопасные газы	Воздух и инертные газы
Цеховые (в помещении)	0,05	0,10	0,2
Межцеховые (вне помещения)	0,1	0,2	0,4

При испытании газопроводов диаметром более 250 мм падение давления определяют умножением проведённых выше значений на поправочный коэффициент K , подсчитываемый по формуле

$$K = 250 / D_{\text{вн}},$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр испытуемого газопровода, мм.

Если потери давления при испытании превышают нормы, то необходимо найти место утечки. Для этого используют специальные приборы (течеискатели) или обмазывают швы, сальники, арматуру и разъёмные соединения мыльным раствором.

После обнаружения мест утечек давление должно быть полностью снято и причины пропусков устранены. Устранение дефектов и подтяжка крепёжных соединений, а также обстукивание корпуса оборудования, находящегося под давлением, не допускаются. После устранения дефектов испытания на герметичность проводят повторно.

2.1.3. Уплотнение байонетных затворов

В настоящее время наиболее широкое распространение получили байонетные затворы с цельным байонетным кольцом, с разъёмным байонетным кольцом, а также двусторонние байонетные затворы и затворы с поворотной крышкой. Конструкция байонетного уплотнения с цельным байонетным кольцом приведена на рис. 2.8. 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 надёжности уплотняющих устройств.

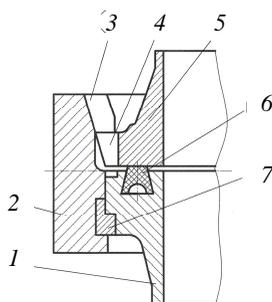


Рис. 2.8. Байонетное уплотнение с цельным байонетным кольцом:

- 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

В качестве уплотняющих устройств для байонетных затворов рекомендуется применять резиновые уплотнители, показанные на рис. 2.9. 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. 2.10).

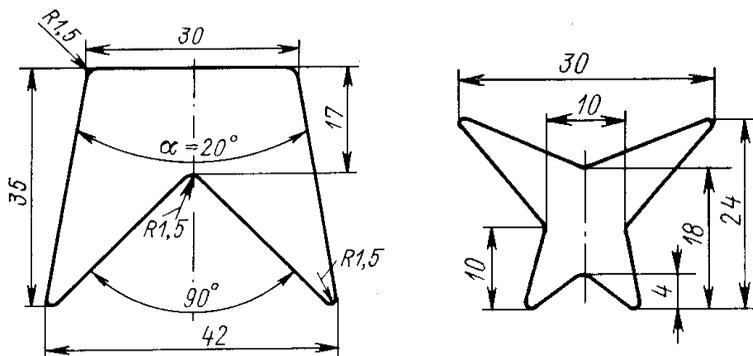


Рис. 2.9. Уплотнители для байонетных затворов

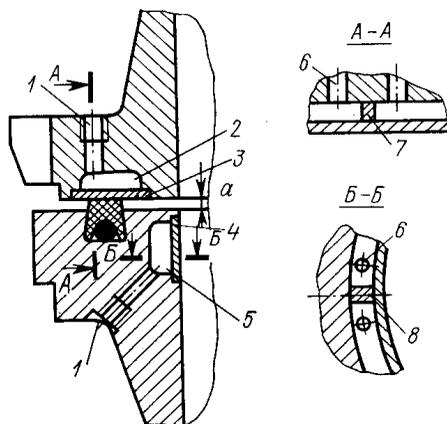


Рис. 2.10. Схема системы охлаждения байонетного затвора:

- 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

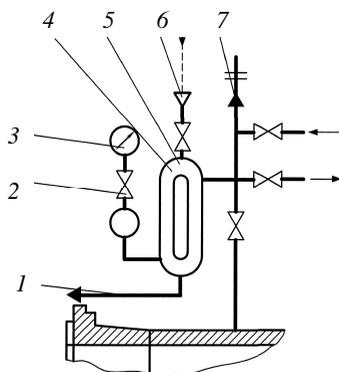


Рис. 2.11. Схема устройства для создания давления под уплотнителем с промежуточным резервуаром:

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

Для обеспечения надёжной 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. 2.11).

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

2.2. ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Защитные устройства являются специальными дополнениями к основному оборудованию и служат для обеспечения безопасности его эксплуатации и защиты обслуживающего персонала. Применение защитных устройств обусловлено возникновением так называемых опасных зон, т.е. пространств, в которых постоянно действуют или периодически возникают ситуации, опасные для жизни и здоровья об-

служивающего персонала. Опасные зоны возникают при эксплуатации машин, станков и аппаратов, имеющих движущиеся, вращающиеся, толкающие, режущие части и детали, а также при эксплуатации подъёмно-транспортных механизмов и выполнении ремонтно-монтажных работ. При конструировании оборудования и проектировании технологического процесса должны быть выявлены опасные зоны и приняты меры к их исключению или применению защитных устройств, исключающих возможность попадания человека в опасные места.

К защитным устройствам от механического травмирования относятся предохранительные тормозные, оградительные устройства, средства автоматического контроля и сигнализации, знаки безопасности, системы дистанционного управления.

Системы дистанционного управления и автоматические сигнализаторы на опасную концентрацию паров, газов, пылей применяют во взрывоопасных производствах и производствах с возможностью выделения в воздух рабочей зоны токсичных веществ.

Предохранительные защитные устройства предназначаются для автоматического отключения агрегатов и машин при отклонении какого-либо параметра (увеличении давления, температуры, рабочих скоростей, силы тока, крутящего момента и т.п.), характеризующего режим работы оборудования, за пределы допустимых. Тем самым исключается возможность взрывов, поломок, воспламенений. В соответствии с ГОСТ 12.4.125–83 предохранительные защитные устройства по характеру действия бывают блокировочными и ограничительными.

Блокировочные устройства по принципу действия подразделяют на механические, электрические, электронные, электромагнитные, пневматические, гидравлические, оптические, магнитные и комбинированные.

Ограничительные устройства по конструктивному исполнению подразделяют на муфты, штифты, клапаны, шпонки, мембраны, пружины, сильфоны и шайбы.

Блокировочные устройства препятствуют проникновению человека в опасную зону либо во время пребывания его в этой зоне устраняют опасный фактор. Наиболее часто эти виды защиты применяются в машинах и агрегатах, не имеющих ограждений, или если работа может вестись при снятом или открытом ограждении.

Механическая блокировка представляет собой систему, обеспечивающую связь между ограждением и тормозным (пусковым) устройством. При снятом ограждении агрегат невозможно растормозить, а, следовательно, и пустить его в ход.

Электрическую блокировку применяют на электроустановках с напряжением от 500 В и выше, а также на различных видах технологи-

ческого оборудования с электроприводом. Она обеспечивает включение оборудования только при наличии ограждения.

Электромагнитную блокировку применяют для предотвращения попадания человека в опасную зону. Если это происходит, высокочастотный генератор подаёт импульс тока к электромагнитному усилителю и поляризованному реле. Контакты электромагнитного реле обеспечивают схему магнитного пускателя, что обеспечивает электромагнитное торможение привода за десятые доли, секунды. Аналогично работают магнитная блокировка, использующая постоянное магнитное поле, и оптическая блокировка. В последнем случае лучи от источника света направляются через опасную зону в фотоэлемент, преобразующий свет в электрический ток, который, пройдя через усилитель и контрольное реле, замыкает цепь пускового электромагнита. При попадании человека в опасную зону свет перестаёт поступать в фотоэлемент, электрическая цепь размыкается, и привод машины отключается. Оптическая блокировка используется для защиты опасных зон на прессах, гильотинных ножницах, штамповочных станках.

Пневматические и гидравлические блокировки применяются в агрегатах, где рабочие тела находятся под повышенным давлением: турбинах, компрессорах, воздухоудувках и т.д. В случае превышения допустимого значения давления реле подаёт импульс на электромагнит, который обеспечивает закрытие запорного устройства (быстродействующего клапана) на линии подачи рабочего вещества и одновременно производится останов привода агрегата.

Примерами ограничительных устройств являются элементы механизмов и машин, рассчитанные на разрушение (или срабатывание) при перегрузках. К слабым звеньям таких устройств относятся: срезные штифты и шпонки, соединяющие вал с маховиком, шестернёй или шкивом; фрикционные муфты, не передающие движения при больших крутящих моментах; плавкие предохранители в электроустановках; разрывные мембраны в установках с повышенным давлением и т.п. Срабатывание слабого звена приводит к останову машины на аварийных режимах.

К защитным устройствам относятся также тормоза. Условия их применения разнообразны: часто выключения двигателя недостаточно для остановки движущихся частей механизма и необходимо дополнительное торможение; в других случаях тормоз может быть использован как своеобразный регулятор движения, например в процессе поднятия груза грузоподъёмным устройством; в центрифугах тормоза устраняют вибрацию при большой скорости вращения барабана и т.п. Тормозные устройства подразделяют: по конструктивному исполнению – на колодочные, дисковые и клиновые; по способу срабатывания – на ручные и

автоматические; по принципу действия – на механические, электромагнитные, пневматические, гидравлические и комбинированные; по назначению – на рабочие, резервные, стояночные и экстренного торможения.

Оградительные устройства – класс средств защиты, препятствующих попаданию человека в опасную зону. Оградительные устройства применяют для изоляции систем привода машин и агрегатов, зоны обработки заготовок на станках, прессах, штампах, оголённых токоведущих частей, зон интенсивных излучений (тепловых, электромагнитных, ионизирующих), зон выделения вредных веществ и т.п. Ограждают также рабочие зоны, расположенные на высоте (леса и т.п.).

В соответствии с ГОСТ 12.4.125–83, классифицирующим средством защиты от механического травмирования, оградительные устройства подразделяют: по конструктивному исполнению – на кожухи, щиты, козырьки, барьеры и экраны; по способу изготовления – на сплошные, несплошные (перфорированные, сетчатые, решётчатые) и комбинированные; по способу установки – на стационарные и передвижные. Возможно применение подвижного (съёмного) ограждения. Оно представляет собой устройство, сблокированное с рабочими органами механизма или машины, вследствие чего закрыт доступ в рабочую зону при наступлении опасного момента.

Чтобы выдерживать нагрузки от отлетающих при обработке частиц и случайные воздействия обслуживающего персонала ограждения должны быть достаточно прочными и хорошо крепиться к фундаменту или частям машин. При расчёте на прочность ограждений машин и агрегатов для обработки металлов, и дерева необходимо учитывать возможность вылета и удара об ограждение обрабатываемых заготовок. Расчёт ограждений ведётся по специальным методикам.

2.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВИБРАЦИЙ

В производственных условиях применяются разнообразные машины, аппараты и инструменты, являющиеся источниками вибрации. Вредное действие вибрации выражается в понижении КПД машин и механизмов, преждевременном износе их узлов и деталей и, как следствие, необходимости в частом ремонте и наладке, а также в опасности возникновения аварий из-за поломок деталей в результате развития усталостных явлений в конструкционных материалах. Вибрации, распространяясь в окружающей среде, разрушают другие машины и сооружения, влияют на технологические процессы, искажают показания контрольно-измерительных приборов. Кроме того, вибрация оказывает вредное действие на организм человека. Поэтому устранение или снижение вибрации является одним из условий обеспечения безопасности

на производстве. Она осуществляется на базе трёх основных методов: виброгашения, виброизоляции и вибродемпфирования. Используется также ряд мероприятий, не связанных с перечисленными методами, но имеющих существенное значение для профилактики вибраций. Важное значение имеют средства индивидуальной защиты (СИЗ) от вибраций, которые по месту контакта оператора с вибрирующим объектом подразделяются на СИЗ для рук (рукавицы, перчатки), ног (специальная обувь). Рассмотрим последовательно перечисленные методы, начиная с профилактических мероприятий при разработке, изготовлении и эксплуатации технического объекта.

При создании машин и оборудования нужно исключить или предельно снизить динамические процессы, вызванные ударами, резкими ускорениями и т.п. Проектировщики обязаны максимально уменьшить величину дисбаланса вращающихся элементов, возникающих из-за неоднородности материалов, несимметричности вращающихся масс. Вибрации снижаются при рациональном выборе допусков на обработку, близости коэффициентов объёмного расширения или износостойкости вращающихся систем. В процессе изготовления и эксплуатации производится балансировка неуравновешенных роторов, валов, устраняются излишние люфты и зазоры, исключаются резонансные режимы работы оборудования.

Виброгашение (увеличение реактивной составляющей сопротивления системы колебания) реализуется за счёт увеличения массы и жёсткости машин или станков. Для этого машины и станки объединяют в единую систему с фундаментом анкерными болтами или цементной подливкой или же устанавливают установки на опорных плитах и виброгасящих основаниях.

Виброгашение основания, как правило, применяется в отношении малогабаритного инженерного оборудования (вентиляторов, насосов), для которых характерны высокочастотные вибрации.

Эффективным методом снижения вибраций является динамическое виброгашение. Динамические виброгасители представляют собой колебательную систему, настроенную на основную частоту колебаний агрегата, вибрации которого необходимо снизить. Средства виброгашения по принципу действия подразделяются на динамические и ударные виброгасители. Первые из них являются дополнительными колебательными системами, находящимися (работающими) в противофазе с колебаниями агрегата. По конструкции такие виброгасители могут быть пружинными, гидравлическими, маятниковыми.

Ударные виброгасители бывают следующих типов: маятниковые (гашение на частотах 0,4...2 Гц), пружинные (2...10 Гц) и плавающие (более 10 Гц). Кроме того, применяются ударные виброгасители камерного типа, аналогичные камерным глушителям шума, которые устанавливают на всасывающей и нагнетательной сторонах компрессоров.

Виброизоляция заключается в уменьшении передачи вибрации от источника к защищаемому объекту (человеку или оборудованию) за счёт введения в систему дополнительной упругой связи. Виброизоляция является более дешёвым способом снижения вибраций, чем установка оборудования на виброгасящие основания. Она может применяться для установки агрегатов без фундаментов. Виброизоляция удешевляет монтаж оборудования, уменьшает уровень акустического шума. Она может применяться при прокладке воздуховодов систем вентиляции, трубопроводов и т.п. В качестве виброизоляторов используют резиновые и пластмассовые прокладки, пружины, рессоры. Широко используются комбинированные виброизоляторы, состоящие обычно из пружины и набора резиновых прокладок (рис. 2.12).

Эффективность виброизоляции характеризуется коэффициентом передачи силы на основание K , который зависит от величины отношения частоты возмущающей силы к частоте собственных вертикальных колебаний системы, состоящей из машины, опорной плиты и виброизоляторов.

Коэффициент передачи определяется из соотношения

$$K = \left[\left(\frac{f}{f_0} \right)^2 - 1 \right]^{-1},$$

где f – частота колебаний системы под воздействием возмущающей силы, Гц; f_0 – частота собственных колебаний системы.

Условием эффективной работы виброизоляторов является обеспечение соотношения $f_0 = \frac{f}{\sqrt{2}}$. Расчёт виброизоляторов в основном сводится к определению их упругости. При этом, задавшись соотношением $\frac{f}{f_0}$, обеспечивающим оптимальное значение K , определяется частота собственных колебаний машины f_0 , установленной на амортизаторах. При этом

$$f_0 = 5x_{\text{ст}}^{-0,5},$$

где $x_{\text{ст}}$ – статическая осадка (жёсткость) виброизолятора, см.

$$x_{\text{ст}} = \frac{m}{k_z} = \frac{h\sigma}{E},$$

где m – суммарная масса аппарата и опорной плиты, кг; k_z – упругость виброизолятора в вертикальном направлении, кг/см; h – высота виброизолятора, см; $\sigma = mg/F$ – напряжение в материале виброизолятора, МПа (F – площадь всех виброизоляторов, м²); E – модуль упругости виброизолятора, МПа.

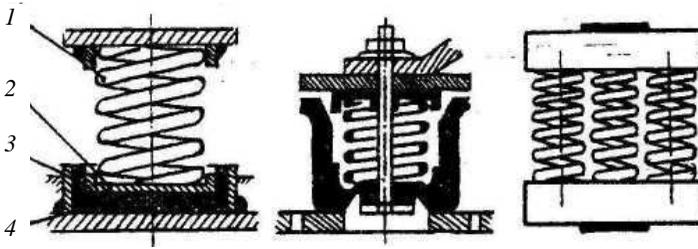


Рис. 2.12. Схема комбинированного виброизолятора (амортизатора):
 1 – пружина; 2 – опорная шайба; 3, 4 – резиновые прокладки

Количество виброизоляторов, необходимых для обеспечения заданной упругости системы, находят исходя из конструктивных особенностей машин и характеристики типовых виброизоляторов. Зная количество виброизоляторов и полагая, что все они имеют одинаковый параметр жёсткости, можно определить силу, действующую на один виброизолятор. В дальнейшем для резиновых прокладок находят необходимую высоту h , а при расчёте пружинных виброизоляторов определяют диаметр пружины и число витков.

Пружинные амортизаторы могут использоваться для ослабления вибрации любых частот, но наиболее эффективны на частотах ниже 15 Гц. Резиновые амортизаторы рекомендуется применять для снижения среднечастотных и высокочастотных вибраций. Резиновые амортизаторы должны выполняться в виде ребристых или дырчатых плит, обеспечивающих свободное расширение резины в стороны. При необходимости снижения низкочастотных вибраций, начиная с 4...6 Гц, рекомендуется применять комбинированные металлорезиновые амортизаторы (рис. 2.12).

Вибродемпфирование заключается в уменьшении уровня вибрации за счёт превращения механических колебаний в тепловую энергию. Характеристикой виброремпфирования является коэффициент потерь. Вибродемпфирование может быть реализовано в машинах с интенсивными динамическими нагрузками путём применения материалов с большим внутренним трением. Наиболее эффективными являются сплавы на основе систем медь–никель, никель–титан и т.п., коэффициент потерь которых на 2...3 порядка выше, чем у чугуна.

Вибродемпфирование часто применяют для защиты от локальной вибрации путём нанесения на колеблющиеся объекты материалов с высоким коэффициентом потерь. Вибропоглощающие покрытия могут быть жёсткими (твёрдые пластмассы) и мягкими (пенопласт, винипор). Жёсткие покрытия деформируются в направлении, параллельном рабочей поверхности. Они наиболее эффективны при многослойном вы-

полнении (коэффициент потерь достигает 0,4). Мягкие покрытия деформируются по толщине и имеют коэффициент потерь до 0,5. Действие жёстких покрытий проявляется в области низких частот, мягких в области высоких частот. Высокой эффективностью отличаются армированные покрытия, обеспечивающие снижение вибраций в широком диапазоне частот.

Организационно-технические мероприятия по защите от вибраций предусматривают своевременное проведение планово-предупредительных ремонтов и существенное сокращение допустимого воздействия вибрации при превышении её уровней над нормативными значениями. По ГОСТ 12.1.012–90 при превышении значения предельно допустимого уровня (ПДУ) на 1 дБ время воздействия (время работы обслуживающего персонала) сокращается в 1,12 раза, на 12 дБ – в 4 раза. В 8-часовой смене у работников, подвергающихся воздействию вибрации, должно быть два регламентированных перерыва: через 1...2 ч после начала работы – 20 мин; через 2 ч после обеда – 30 мин. Превышение ПДУ на 12 дБ является основанием для прекращения эксплуатации данного оборудования.

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 объёмным электрическим сопротивлением не более 10^8 Ом·м.

Аппараты диэлектрические – аппараты, в которых поверхности, имеющие контакт с перерабатываемыми веществами, изготовлены из материалов с удельным объёмным электрическим сопротивлением более 10^8 Ом·м.

Аппараты электропроводные – аппараты, поверхности которых имеют контакт с перерабатываемыми веществами и изготовлены из материалов с удельным объёмным электрическим сопротивлением не более 10^6 Ом·м.

Заземлитель – проводник или совокупность металлических соединённых проводников, находящихся в соприкосновении с землёй или её эквивалентом.

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

Заземляющее устройство – совокупность конструктивно объединённых заземляющих проводников и заземлителя.

Заземляющий проводник – проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землёй или её эквивалентом металлических нетоковедущих 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.

Электроустановки – это совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии.

Нейтралью называется общая точка обмоток многофазных электрических генераторов, трансформаторов, в которой напряжение по отношению ко всем внешним зажимам в нормальном режиме одинаково по абсолютному значению.

Нейтралью также считается провод, соединённый с нейтральной точкой. Заземлённая нейтральная точка (или провод) называется нулевой.

Заземленной нейтралью называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединённая к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Изолированной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединённая к заземляющему устройству или присоединённая к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, имеющие большое сопротивление.

Электроустановки разделяются на электроустановки напряжением выше 1000 В в сетях с эффективно заземлённой нейтралью (с большими токами замыкания на землю); электроустановки напряжением выше 1000 В в сетях с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю); электроустановки напряжением до 1000 В с заземлённой нейтралью; электроустановки напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью.

Выбор схемы сети и режима нейтрали источника тока определяется технологическими требованиями и условиями безопасности. По технологическим требованиям предпочтение отдаётся четырёхпроводной сети с заземлённой нейтралью, поскольку в ней возможно использование двух рабочих напряжений – линейного и фазного.

По условиям безопасности в период нормального режима работы сети более безопасной является сеть с изолированной нейтралью, а в аварийный период – сеть с заземлённой нейтралью.

3.2. ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

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

Электрооборудование общепромышленного исполнения может иметь различные степени защиты от соприкосновения персонала с вращающимися частями, от попадания внутрь электрооборудования твёрдых частиц и воды.

Степени защиты электрооборудования, обеспечиваемые оболочками, регламентируются ГОСТ 14254–96 (Код IP). IP (Ingress Protection) определяет рейтинг для электрических устройств (electrical enclosure), характеризующий способность техники противостоять проникновению твёрдых или жидких тел. Данный стандарт защиты был принят комиссией ИЕС (International Electrotechnical Commission).

IP-рейтинг состоит из двух цифр (например, IP-66). Первая означает защиту от твёрдых тел, вторая – от жидкости. Если IP-рейтинг не указан, следует понимать, что устройство не устойчиво к проникновению пыли и влаги.

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 распространённым 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 заземлённых металлических конструкциях, которые в невзрывоопасных зонах допускается не заземлять. Это требование не распространяется на электрооборудование, установленное внутри заземлённых корпусов шкафов и пультов.

В незрывоопасных 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.

По степени опасности поражения человека электрическим током выделяют **три класса помещений**.

Помещения без повышенной опасности – это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими (например, деревянными) полами, т.е. такие, в которых отсутствуют условия, свойственные помещениям с повышенной опасностью и особо опасным условиям.

Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием одного из следующих условий:

– сырости, когда относительная влажность воздуха длительное время превышает 75%;

– высокой температуры, когда температура воздуха значительное время (свыше суток) превышает +35 °С;

– токопроводящей пыли, когда по условиям производства в помещении выделяется токопроводящая технологическая пыль (например угольная, металлическая) в таком количестве, что она оседает на проводах, проникает внутрь машин, аппаратов;

- токопроводящих полов (например, металлических, железобетонных, кирпичных);
- возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Помещения особо опасные характеризуются наличием одного из следующих условий:

- особой сырости, когда относительная влажность воздуха близка к 100%;
- химически активной или органической среды, т.е. помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образующие отложения или плесень, которые разрушительно воздействуют на изоляцию и токоведущие части электрооборудования;
- одновременного наличия двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Способы и средства обеспечения электробезопасности: защитное заземление, зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов, малое напряжение, изоляция токоведущих частей, электрическое разделение сетей, оградительные устройства, блокировки, предупредительная сигнализация, знаки безопасности, предупредительные плакаты, электрозащитные средства.

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или её эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции электроустановки.

Принцип действия защитного заземления: снижение до безопасных значений напряжения прикосновения и силы тока, проходящего через человека, обусловленных замыканием на корпус.

Расчёт защитного заземления заключается в определении параметров вертикальных и горизонтальных элементов заземления при условии непревышения допустимого значения сопротивления заземляющего устройства. Заземляющее устройство состоит из заземлителя (одного или нескольких металлических элементов, погружённых на определённую глубину в грунт) и проводников, соединяющих заземляемое оборудование с заземлителем. Расчёт защитного заземления выполняют на стадии проектирования технологической установки в целом. Цель этого расчёта – определить число, размеры и место размещения одиночных заземлителей и заземляющих проводов, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземлённый корпус аппарата не превышают безопасных значений. Порядок расчёта защитного заземления приведён в специальной литературе.

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 заземлённых 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. Сопротивление 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 контргайки 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, защищённой 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 помещён знак заземления. Этот знак допускается выполнять методом штамповки на пластине, прикрепляемой к аппарату, или методами литья в металле по ГОСТ 21130–75*.

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Принцип действия зануления заключается в превращении замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (между фазным и нулевым проводами) с целью вызвать большой ток, обеспечивающий срабатывание защиты, и тем самым автоматически отключить повреждённую установку от питающей сети.

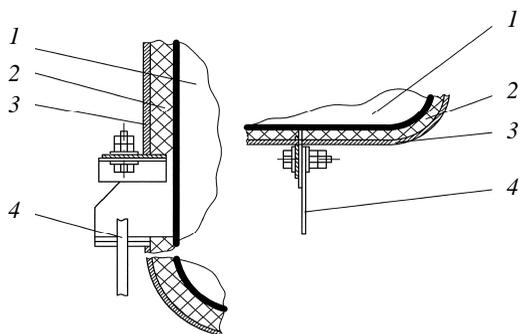


Рис. 3.1. Способы присоединения заземляющих проводников к аппаратам с теплоизоляцией, защищённой металлическим кожухом:

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

Расчёт зануления заключается в определении сечения нулевого провода, удовлетворяющего условию срабатывания максимальной токовой защиты. Такой защитой могут быть плавкие предохранители, магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, контакторы в сочетании с тепловым реле, автоматы, осуществляющие защиту одно- временно от токов короткого замыкания и от перегрузки.

Защитное заземление или зануление электроустановок является обязательным в помещениях без повышенной опасности поражения током при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, а также 440 В и выше постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных необходимо заземлять или занулять установки при номинальном напряжении 42 В и выше переменного тока, а также 110 В и выше постоянного тока. Во взрывоопасных помещениях заземление или зануление установок обязательно независимо от напряжения сети.

Защитное отключение – это быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током. При применении этого вида защиты безопасность обеспечивается быстродействующим (не более 0,2 с) отключением аварийного участка или всей сети при одно- фазном замыкании на землю или на элементы электрооборудования, нормально изолированные от земли, а также при прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением.

Выравнивание потенциала – метод снижения напряжения прикосновения и шага между точками электрической цепи, к которым возможно одновременное прикосновение или на которых может одновременно стоять человек.

Для выравнивания потенциала в землю укладывают стальные полосы в виде сетки по всей площади, занятой оборудованием. В производственном помещении корпуса электрооборудования и производственного оборудования в той или иной степени связаны между собой. При замыкании на корпус в каком-либо из электроприёмников все металлические части получают близкое по величине напряжение относительно земли. В результате напряжение между корпусом электроприёмника и полом уменьшается, происходит выравнивание потенциала по всей площади помещения и человек, находящийся в этой цепи замыкания, оказывается под сравнительно малым напряжением.

Малое напряжение – номинальное напряжение не более 42 В, которое используют для питания электроинструмента, светильников стационарного освещения, переносных ламп в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и на наружных установках. Источниками малого напряжения могут быть специальные понижающие трансформаторы с вторичным напряжением 12...42 В.

Исправность изоляции – это основное условие, обеспечивающие безопасность эксплуатации и надёжность электроснабжения электроустановок. Для изоляции токоведущих частей электроустановок применяют рабочую и дополнительную изоляцию.

Электрическое разделение сетей – разделение сети на отдельные электрически не связанные между собой участки с помощью разделяющего трансформатора, который изолирует электроприёмник от первичной сети и сети заземления.

Сплошные ограждения обязательны для электроустановок, размещаемых в производственных (неэлектрических) помещениях. **Сетчатые ограждения** применяют в электроустановках, доступных квалифицированному электротехническому персоналу.

Блокировка – защита от проникновения в опасную зону, где находится установка. Она позволяет автоматически снимать напряжение со всех элементов установки, приближение к которым угрожает жизни человека.

Предупредительную сигнализацию выполняют звуковой и световой. Для световых сигналов применяют цвета в соответствии с ГОСТ Р12.4.026–2001. Сигнальные лампы и другие светосигнальные аппараты должны иметь знаки или надписи, указывающие значение сигналов (например, «Включено», «Отключено», «Нагрев»).

Знаки безопасности и предупредительные плакаты предназначаются для: предупреждения опасности при приближении к частям, находящимся под напряжением; запрещения оперировать аппаратами, которые могут подать напряжение на отведённое для работы место; указания места, подготовленного к работе; напоминания о принятых мерах безопасности.

Изолирующие, ограждающие и вспомогательные электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, предназначенные для защиты обслуживающих электроустановки людей от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги и электромагнитного поля.

3.4. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Статическим электричеством называется совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности и в объёме диэлектрика или на изолированных проводниках.

В технологических процессах, сопровождающихся трением, измельчением, разбрызгиванием, распылением, фильтрованием и просеиванием веществ, на самих материалах и на оборудовании образуется электрический потенциал в тысячи и десятки тысяч вольт. Приобретение телами избыточного заряда связано с явлением контактной электризации.

При соприкосновении тел, различающихся по температуре, концентрации заряженных частиц, энергетическому состоянию атомов, шероховатости поверхности и другим параметрам, происходит перераспределение между ними электрических зарядов. При этом у поверхности раздела тел на одном из них концентрируются положительные заряды, на другом – отрицательные. Заряды будут оставаться на поверхностях после их разделения в случае, если время разрушения контакта меньше времени релаксации зарядов.

Опасность, создаваемая электризацией различных материалов, состоит в возможности искрового разряда как с диэлектрической наэлектризованной поверхности, так и с изолированного проводящего объекта. Разряд статического электричества возникает тогда, когда напряжённость электрического поля над поверхностью диэлектрика или проводника, обусловленная накоплением на них зарядов, достигает критической (пробивной) величины. Для воздуха эта величина составляет 30 кВ/м.

Воспламенение горючих смесей искровыми разрядами статического электричества произойдёт, если выделяющаяся в разряде энергия будет больше минимальной энергии зажигания горючей смеси.

Электростатическая искробезопасность объектов обеспечивается снижением электростатической искроопасности объекта, а также снижением чувствительности объектов, окружающей и проникающей в них среды к зажигающему воздействию статического электричества.

Снижение чувствительности объектов, окружающей и проникающей в них среды к зажигающему воздействию разрядов статического электричества обеспечивается регламентированием параметров

производственных процессов (влагосодержание и дисперсность аэрозвесей, давление и температура среды и др.).

Энергию разряда с заряженной диэлектрической поверхности можно определить экспериментально. Минимальная энергия зажигания горючих смесей зависит от природы веществ и также определяется экспериментально. Для воспламенения горючих газов, паров и жидкостей достаточно возникновения искры при разности потенциалов в 300...3000 В. Например, бензол и пары бензина воспламеняются от искры при разности потенциалов – 300 В, бензин – 1000 В, почти все горючие газы – 3000 В. Большинство горючих пылей воспламеняется от искры при разности потенциалов в 5000 В. Анализ причин пожаров и взрывов на производствах, где перерабатываются или используются взрывоопасные смеси, показал, что 60% всех взрывов происходит по причине возникновения статического электричества.

Воздействие статического электричества на человека может проявляться в виде слабого длительно протекающего тока или в форме кратковременного разряда через его тело.

Электростатическое поле повышенной напряжённости отрицательно влияет на организм человека, вызывая функциональные изменения со стороны центральной нервной, сердечнососудистой и других систем организма.

Защита от статического электричества производится по двум направлениям: уменьшение интенсивности генерации электрических зарядов и устранение образовавшихся зарядов.

Уменьшение интенсивности генерации электрических зарядов достигается использованием слабоэлектризующихся или неэлектризующихся материалов. Правильный подбор конструкционных материалов для изготовления или облицовки производственного оборудования позволяет значительно уменьшить или исключить электризацию. По электризационным свойствам вещества располагают в электростатические ряды в такой последовательности, что любое из них приобретает отрицательный заряд при соприкосновении с материалами, расположенными до него, и положительный – при контакте с материалом, расположенным за ним. Например, один из таких рядов имеет следующий состав: этилцеллюлоза, казеин, эбонит, ацетилцеллюлоза, стекло, металлы, полистирол, полиэтилен, фторопласт, нитроцеллюлоза.

С увеличением расстояния в ряду между материалами растёт электрический заряд, образующийся между ними, поэтому целесообразно использовать в качестве конструкционных те же материалы, что и перерабатываемый, или близко расположенные к нему в электростатическом ряду. Например, при пневмотранспортировании порошкообразного полиэтилена предпочтительнее применять полиэтиленовые трубопроводы.

Другим способом является смешивание материалов, которые при взаимодействии с элементами технологического оборудования заряжаются разноименно. Например, при трении материала, состоящего из 40% нейлона и 60% дакрона, о хромированную поверхность электризации не происходит.

Уменьшение силы трения и площади контакта, шероховатости взаимодействующих поверхностей, их хромирование или никелирование снижают величину электростатических зарядов. Этому способствует и создание воздушной подушки между движущимися материалами и элементами оборудования, например между плёнкой и поверхностью валков.

Устранение зарядов статического электричества достигается заземлением электропроводных частей технологического оборудования. Заземляющие устройства для отвода статического электричества обычно объединяются с защитными заземляющими устройствами для электрооборудования. Если заземление предназначено только для защиты от статического электричества, то его сопротивление не должно превышать 100 Ом.

Агрегаты, входящие в состав технологических линий, должны иметь между собой надёжную электрическую связь, а линию в пределах цеха необходимо присоединить к заземлителю не менее чем в двух местах. Металлические вентиляционные воздухопроводы в пределах цеха заземляют через каждые 40...50 м. Для заземления неметаллических объектов на них наносят электропроводное покрытие (металлическая фольга, электропроводные эмали), которое электрически соединяют с заземлителем или с заземлённой металлической арматурой. Электропроводность материалов повышают с помощью пропитки растворами поверхностно-активных веществ.

При использовании ремённых передач их металлические части и ограждение заземляют, а ремни изготавливают из материалов с $p_v < 10^5$ Ом·м. Для обеспечения заземления вращающихся частей применяют электропроводную смазку. Автоцистерны, передвижные аппараты и сосуды, предназначенные для транспортирования огнеопасных жидкостей, заземляют на время их наполнения и опорожнения. Для перекачки нефтепродуктов используют шланги из электропроводной резины. Заземление передвижных объектов осуществляют посредством колёс из электропроводных материалов или с помощью специальных устройств (металлические цепочки, ленты из электропроводной резины).

Для обеспечения непрерывного отвода зарядов статического электричества в землю полы во взрывоопасных помещениях выполняют из бетона, пенобетона, ксилолита, электропроводной резины, антистатического линолеума.

Увеличение относительной влажности воздуха до 65...70% вызывает снижение удельного поверхностного электрического сопротивления перерабатываемых материалов, что позволяет исключить электризацию гидрофильных материалов (древесина, бумага, хлопчатобумажная ткань). Для этого применяют общее или местное увлажнение воздуха в помещении.

Повышение поверхностной электропроводности полимеров, которые гидрофобны, достигается обработкой их кислотами, например серной или хлорсульфоновой. Также применяют специальные поверхностно-активные вещества и создают на поверхности диэлектрика электропроводную плёнку на основе углерода, металлов или их оксидов.

Объёмная электропроводность твёрдых диэлектриков может быть увеличена введением в их массу электропроводящих наполнителей (ацетиленовая сажа, графит, алюминиевая пудра). Для уменьшения удельного объёмного сопротивления диэлектрических жидкостей (нефтепродуктов, растворов полимеров) в них добавляют антистатические присадки (хромовые соли синтетических жирных кислот).

Эффективным способом снижения электризации является применение нейтрализаторов статического электричества, создающих вблизи наэлектризованного диэлектрического объекта положительные и отрицательные ионы. Ионы, несущие заряд, противоположный заряду диэлектрика, притягиваются к нему и нейтрализуют заряд объекта. По принципу действия нейтрализаторы разделяют на следующие типы: коронного разряда (индукционные и высоковольтные), радиоизотопные, аэродинамические и комбинированные.

В качестве основного средства индивидуальной защиты во взрывоопасных помещениях с электропроводными полами используют обувь с кожаной подошвой или подошвой из электропроводной резины. При выполнении работ сидя применяют антистатические халаты в сочетании с электропроводной подушкой стула или электропроводные браслеты, соединённые с заземляющим устройством. При проведении работ внутри ёмкостей и аппаратов, где возможно образование взрывоопасных газо- и пылевоздушных смесей, недопустимо использование верхней одежды из электризующихся материалов.

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

Вещества и материалы, имеющие $\rho_v \ll 10^5$ Ом·м, при отсутствии их разбрызгивания или распыления не электризуются, и, следовательно

но, 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, напряжённости 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 объёмного 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 заземлёнными, если сопротивление любой точки их внутренней и внешней поверхностей относительно контура заземления не превышает 10^7 Ом·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 соединённых с ними коммуникаций, следует аппараты, в которых происходит дробление, распыление, разбрызгивание продуктов, эмалированные и футерованные аппараты, а также аппараты, не соединённые трубопроводами с общей системой заземления аппаратов и трубопроводов.

Если заземление аппаратов не предотвращает накопление опасных потенциалов статического электричества, то в качестве дополни-

тельной меры следует применять *способ рассеяния зарядов* путём уменьшения удельного объёмного 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 (плёнки, 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 взрывозащищённом 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 объёмным электрическим сопротивлением не более 10^5 Ом·м;
- 5 м/с и менее – для жидкостей с удельным объёмным электрическим сопротивлением не более 10^9 Ом·м;
- 1,2 м/с – для жидкостей с удельным объёмным электрическим сопротивлением более 10^9 Ом·м при диаметрах трубопроводов до 200 мм;
- 1 м/с – в начале заполнения порожнего аппарата жидкостями, имеющими удельное объёмное электрическое сопротивление более 10^5 Ом·м, до момента затопления конца загрузочной трубы.

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

Диаметр релаксационной ёмкости D вычисляют по формуле

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

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

Длина релаксационной ёмкости:

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

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

Налив жидкости в резервуары свободно падающей струёй не допускается. Расстояние от конца загрузочной трубы до дна сосуда не должно превышать 200 мм, а если это невозможно, то струю направляют вдоль стенки. Не допускается разбрызгивание или быстрое перемешивание жидкости. Жидкости должны поступать в резервуары на отметке ниже уровня содержащегося в них остатка жидкости. При первоначальном заполнении резервуаров жидкость подают со скоростью не более 0,5...0,7 м/с.

Наличие в потоках жидкости или газа посторонних примесей способствует возникновению электризации, поэтому необходимо очищать их от загрязнений. Конденсация паров и газов при большом перепаде давлений вызывает электризацию газовых струй при их истечении через неплотности, что требует особого внимания к герметизации оборудования, содержащего горючие пары и газы под высоким давлением.

Возникновение опасных искровых разрядов при движении горючих паров и газов в аппаратах и трубопроводах предотвращается путём заземления всех металлических частей, находящихся в газовом потоке, и исключением возможности присутствия в этих потоках твёрдых и жидких частиц. Не рекомендуется отводить заряды из газового потока путём введения в него заземлённых металлических сеток, пластин, раскателей, 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 объёмным 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 надёжный контакт покрытия с заземлённой металлической арматурой.

Введение в неметаллические антистатические и диэлектрические аппараты дополнительных заземлённых электродов допускается в случаях:

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 объёмное 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 заземлённым 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 клиноремённое устройство. Применение плоскоремённых передач не допускается. Клиноремённые передачи должны выполняться из материалов, имеющих удельное объёмное электрическое сопротивление не более 10^5 Ом·м, а вся установка (ограждение и другие металлические детали вблизи ремня) должна заземляться. В случае использования обычных клиновых ремней следует применять один из следующих способов предотвращения опасной электризации:

1) увеличение относительной влажности воздуха в месте расположения клиноремённой 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 ещё не поддаётся надёжному расчёту. 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 учётом 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 объём оборудования.

4.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ОПАСНОСТИ ВЗРЫВА

Распространённым 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 ведётся экстенсивно и скрытые в нём 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) определённой зоны протяжённого 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, диэтиламином. 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 объёма реактора непрерывного действия по сравнению с объёмом реактора периодического действия при той же производительности снижается общий объём 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 её устранение. Полная гарантия безопасности процесса достигается применением высоконадёжной 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 её 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 надёжной 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 проёмы, к которым относятся остеклённые части здания, двери, распашные ворота, стены из облегчённых 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, инертизации (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 определённый параметр взрыва (давление, температуру, тепловую радиацию);

2) исполнительный механизм, который под влиянием начального импульса обеспечивает срабатывание устройства и диспергирование вещества, тушащего пламя, причём 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 регулирования (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 «жёсткого» 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 ёмкость, заполненную разбавителем;

- подача в реактор разбавителя, резко затормаживающего процесс и делающего невозможным дальнейшее использование реакционной массы;

- подача «жёсткого» 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 проём внутри аппарата, где происходит горение горючих смесей, подаётся 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 металловолокнистые. Огнепреградители используют также для оборудования «дыхательных», продувочных и сбросных линий аппаратов и ёмкостей с легко-воспламеняемыми жидкостями (ЛВЖ), газопаровоздушных линий со взрывоопасными концентрациями смеси, коммуникаций с газами, способными к взрывному разложению.

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.

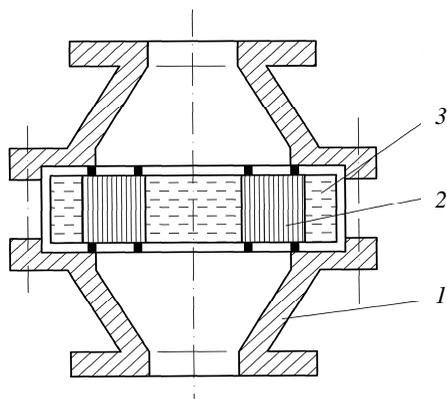


Рис. 4.1. Кассетный огнепреградитель:

1 – корпус; 2 – кассета; 3 – вода для охлаждения

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 огнетушителя 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 взрыво- и пожароопасности 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, причём 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 проёма 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 противозрывных 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 (противозрывными) клапанами также имеют ряд существенных преимуществ: предельная простота конструкции и более высокая надёжность (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 остаётся 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 (ёмкостью от 1,0 до 50 м³) распылённого огнетушащего вещества (воды, фреона 114В-2), прекращающего дальнейший процесс развития взрыва.

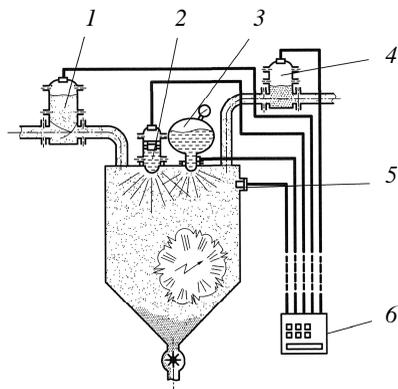


Рис. 4.2. Автоматическая система подавления взрывов «Радуга»:

1, 4 – пламеотсекатели; 2 – гидропушка; 3 – ороситель;
5 – индикатор; 6 – блок управления

На рисунке 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 подаёт усиленные командные электрические импульсы на каждое из исполнительных устройств – гидропушку 2, ороситель 3 и пламеотсекатели 1 и 4. Получив сигнал, гидропушка и ороситель подавляют горение в аппарате, а пламеотсекатели предотвращают распространение пламени в смежные аппараты.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ

На предприятиях химической промышленности различные технологические продукты в большом количестве транспортируются по трубопроводам. Промышленные трубопроводы, прокладываемые по заводским и межзаводским территориям, предназначены для транспортирования жидкостей, воздуха и газов. Трубопроводы соединяют между собой агрегаты единого технологического цикла, расположенные в разных цехах, а также объединяют трубопроводную сеть предприятия в замкнутые системы.

Трубопроводы – герметично выполненная система труб, предназначенная для перемещения жидкостей и газов, снабжённая запорной, регулирующей и другой арматурой.

Трубопроводы подразделяются на технологические и магистральные.

Все технологические трубопроводы в зависимости от свойств и параметров транспортируемого продукта делят на группы и категории.

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

К *технологическим* относятся трубопроводы в пределах промышленных предприятий, по которым транспортируются жидкое и газообразное сырьё и готовые продукты, пар, вода, топливо, реагенты и другие вещества, обеспечивающие ведение технологического процесса и эксплуатацию оборудования, а также межзаводские трубопроводы, находящиеся на балансе предприятия.

Магистральные трубопроводы характерны для нефтегазодобывающих комплексов, транспортирующих нефть или газ, а также для протяжённых водопроводных систем.

На предприятиях различных отраслей промышленности технологические трубопроводы являются неотъемлемой частью технологического оборудования.

Технологические трубопроводы делятся на внутрицеховые и межцеховые. К *внутрицеховым* относятся трубопроводы, соединяющие отдельные аппараты, установки, машины, расположенные на территории цеха; к *межцеховым* – трубопроводы, соединяющие оборудование, которое находится в разных цехах.

В зависимости от расположения трубопроводы могут быть надземными и подземными. Наиболее распространены надземные трубопроводы, удобные для технического надзора.

Технологический трубопровод представляет собой конструкцию, состоящую из ряда элементов: труб, трубопроводных деталей (фитингов) и арматуры, соединённых разъёмными и неразъёмными соединениями. Вследствие большого разнообразия элементов трубопроводов и значительных объёмов их выпуска промышленностью важное значение имеют вопросы унификации и стандартизации этих элементов. В связи с этим трубы, трубопроводные детали и трубопроводную арматуру изготавливают, поставляют и монтируют в соответствии с государственными и отраслевыми нормативно-техническими документами. Проектирование трубопроводов сводится, в сущности, к подбору соответствующих трубопроводных элементов по действующим стандартам и нормам. При этом важное значение имеют две характеристики трубопровода – условный проход и условное давление.

Номинальный диаметр отверстия в трубе или арматуре, служащего для прохода среды, называется условным проходом и обозначается D_y . Если два любых элемента трубопровода имеют одинаковые значения D_y , то они имеют одинаковые площади проходного сечения и одинаковые присоединительные размеры. Для широкого применения в технологических трубопроводах рекомендуют трубы и арматуру с условными проходами (в мм): 3; 5; 10; 15; 20; 25; 32; 40; 50; 65; 80; 100; 125; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 500; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600; 2000; 2400; 3000; 3400; 4000.

Под условным давлением p_y понимают максимальное избыточное давление среды с температурой 20 °С, при котором обеспечивается длительная и безопасная эксплуатация элементов трубопроводов. При рабочей температуре среды до 200 °С условное давление совпадает с рабочим давлением. При более высокой рабочей температуре значение условного давления должно быть больше рабочего. ГОСТ 356–80 устанавливает следующий ряд условных давлений (МПа): 0,1; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 64; 80; 100.

Для объединения трубопроводов в группы по условиям работы выполнена их классификация с учётом трёх основных параметров: рабочего давления, рабочей температуры, свойств и параметров перемещаемой среды.

В зависимости от свойств транспортируемой среды все технологические трубопроводы делят на три группы (А, Б, В), а в зависимости от её параметров (давления и температуры) – на пять категорий (I, II, III, IV, V).

5.1.1. Трубы

Трубы – каналы различного поперечного сечения, по которым могут протекать жидкости или газы. Как правило, на практике применяют трубы круглого поперечного сечения.

Трубы для технологических трубопроводов классифицируют по видам материалов, применяемых для их изготовления, и по способам производства.

По видам материалов трубы разделяют на металлические и неметаллические.

По способу производства металлические трубы делят на бесшовные, сварные и литые.

Бесшовные стальные трубы изготавливают горячекатаными, холоднокатаными и холоднотянутыми. Геометрическая точность изготовления и чистота поверхности холоднотянутых и холоднокатаных труб выше, чем труб горячекатаных.

Трубы из углеродистой стали применяют для транспортирования неагрессивных и малоагрессивных продуктов при температуре не более 450 °С.

Для транспортирования высоко- и среднеагрессивных продуктов, движение которых по углеродистым трубам может вызвать их коррозию и изменение качества, а также для работы при температурах выше 450 °С, применяют трубы из легированных и высоколегированных сталей.

Выбор марки стали трубопроводов при их температуре до 200 °С следует производить по рекомендациям СНиП II – 23–81*.

Допускаемое внутреннее давление в стальных трубах зависит главным образом от марки стали, толщины стенки трубы и от качества термообработки. В настоящее время выпускают стальные трубы, рассчитанные на давление 250 МПа и выше.

Сортаменты стальных труб для технологических трубопроводов охватывают диапазон диаметров 1...1600 мм с толщиной стенок 0,1...75 мм. Это обеспечивает широкий выбор труб применительно к различным условиям работы.

Бесшовные трубы являются наиболее качественными, поэтому их используют для трубопроводов ответственного назначения (I и II категории), транспортирующих кислоты, щёлочи, ядовитые, удушливые, огне- и взрывоопасные продукты, сжиженные газы независимо от рабочего давления; для паропроводов, воздухопроводов и линий инертных газов при условном давлении выше 1,6 МПа, для трубопроводов высокого давления и др.

Бесшовные трубы из коррозионно-стойкой стали предназначены для транспортировки высококоррозионных химических продуктов, сернистых жидких и газообразных нефтепродуктов, а также для паропроводов с высокими температурой и давлением пара. Особенно широко применяют трубы из хромоникелевой стали марки 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, обладающие высокой химической и температурной

стойкостью. Коррозионно-стойкие бесшовные трубы в соответствии с ГОСТ изготавливают с наружным диаметром до 325 мм. При прокладке трубопроводов больших диаметров применяют нержавеющие электросварные (из листа) трубы.

Сварные трубы имеют продольный или спиральный шов, поэтому они менее надёжны в работе. Электросварные трубы обычно используют для изготовления трубопроводов, транспортирующих горючие, неагрессивные и малоагрессивные продукты, щёлочи, перегретый и насыщенный пар при условном давлении не более 1,6 МПа и температуре 300 °С.

Стальные сварные водогазопроводные трубы применяют для внутрицеховых водопроводов, отопительных трубопроводов, линий сжатого воздуха, а также других трубопроводов V категории.

Трубы изготавливают также из чугуна, меди, латуни, свинца, керамики, стекла, фарфора, пластмассы. В настоящее время трубы из цветных металлов и свинца почти полностью заменены пластмассами. Из последних наиболее распространены трубы из винипласта, фаолита, полиэтилена. Эти трубы стойки к агрессивным средам, однако их можно применять только при невысокой температуре транспортируемой среды. Так, температурный предел винипластовых труб 40 °С, полипропиленовых труб 100 °С, а труб из фаолита 110 °С.

Всё более широко в химической промышленности применяют титановые трубы. Весьма перспективны стальные трубы с защитным покрытием внутренней поверхности полиэтиленом, винипластом, эмалью, стеклом и резиной. Наиболее хорошо освоены отечественной промышленностью трубы, внутренняя поверхность которых покрыта резиной (гуммированные трубы).

5.1.2. Фасонные (соединительные) детали трубопроводов

К соединительным деталям трубопроводов относятся: колена различных конструкций, служащие для изменения направления трубопроводов; переходы – для изменения площади проходного сечения трубопровода; тройники, крестовины и развилки – для ответвления труб в разные стороны.

Существуют различные способы соединения отдельных звеньев труб, фасонных частей и арматуры.

Способ соединения труб зависит от назначения трубопроводов, характера транспортируемого вещества, давления в трубопроводе, условий прокладки (в земле, в здании, в туннеле или на эстакаде и т.д.), а также от способа крепления, температурных деформаций и частоты разборки трубопроводов по технологическим причинам.

В химической промышленности в основном применяют стандартные соединения (муфтовые, фланцевые, раструбные, сварные), а также специальные приспособления.

Муфтовые соединения применяют в водогазопроводных трубах с наружной резьбой для санитарно-технических и лабораторных установок. Такое соединение используют также при прокладке стальных обсадных трубопроводов (в скважинах).

Муфта представляет собой деталь с внутренней резьбой, которая служит для соединения двух частей трубопровода.

Муфты для газопроводных труб изготавливают из ковкого чугуна или из стали. Для удобства разъединения двух труб отдельные соединения выполняют на сгонах. Сгоном называется отрезок трубы, имеющий на одном конце короткую резьбу, а на другом длинную резьбу, допускающую навёртывание на неё контргайки и муфты.

Фланцевое соединение – основной вид соединения трубопроводов, применяемый в промышленности для технологических трубопроводов. Фланцевое соединение используют в случаях, когда нецелесообразно применение сварных соединений, например, при необходимости частой разборки соединения. Различают фланцевые соединения с приварными, накидными или резьбовыми фланцами. Наиболее часто применяют приварные фланцы. Резьбовые фланцы в химической промышленности применяют в основном на трубопроводах высокого давления.

Фланцевое соединение отличается удобством обслуживания, долговечностью службы, надёжностью, герметичностью.

Раструбные соединения применяются на следующих трубопроводах: чугунных, керамических для прокладки в земле, железобетонных, бетонных, чугунных для санитарно-технических целей при открытой прокладке в зданиях; в редких случаях – в пластмассовых трубах.

К достоинствам раструбного соединения следует отнести возможность создания некоторого перегиба в трубах при прокладке, а также отсутствие необходимости в болтовых соединениях, что важно при прокладке трубопроводов в земле.

Соединение труб сваркой, пайкой или склеиванием. В промышленности широко распространены методы соединения труб сваркой, пайкой и склеиванием. Трубопроводы могут свариваться всеми промышленными способами, обеспечивающими качество сварных соединений. Сваркой или пайкой можно соединять трубы из чёрных металлов (кроме чугунных), цветных металлов, а также полиэтиленовые или винилпластовые.

К преимуществам сварных соединений следует отнести высокую прочность шва (при хорошем выполнении работы прочность шва достигает 100% прочности цельной трубы); удобство в эксплуатации (минимальные течи); простоту обслуживания; высокую экономичность.

Недостатком сварного соединения является трудность разборки трубопроводов; поэтому часто делают смешанные соединения (2... 3 трубы сваривают, а затем ставят фланцевое соединение и т.д.). Такие смешанные соединения необходимы при транспортировке вискозных, ацетатных и других растворов. На сварном трубопроводе также ставят фланцы (в местах установки арматуры и при подсоединении к аппаратам).

Фасонные части (фитинги) – детали для трубных соединений. Они необходимы для соединения труб и для разветвления трубопроводов; для уменьшения диаметра трубопровода; для установки контрольно-измерительных приборов. При изготовлении фасонных частей предусматривают различные варианты их соединений (резьбовые, фланцевые, раструбные, сварные и др.). К фасонным частям относятся тройник, крестовина, отвод, колено, переход, патрубков, вставка, заглушка, муфта, ревизия и др.

При прокладке сварного стального трубопровода часто вместо вставки фасонных частей делают врезку ответвлений непосредственно в трубопровод; при этом значительно уменьшается объём монтажных работ.

5.2. КОМПЕНСАТОРЫ

При транспортировании различных продуктов с повышенными или пониженными температурами происходят изменения длин трубопроводов.

При закреплении таких трубопроводов жёсткими (неподвижными) опорами в трубах возникают напряжения и в случае отсутствия устройств, компенсирующих (поглощающих) изменения длины трубопроводов, могут произойти деформации труб или разрушение опор.

Тепловые изменения длин трубопроводов при температуре среды не более 80 °С могут быть скомпенсированы эластичностью самого трубопровода при наличии в нём отводов, небольшой его протяжённости и правильной расстановки опор. Такая самокомпенсация является лучшим способом компенсации тепловых изменений длин трубопроводов.

Однако в большинстве случаев на трубопроводах устанавливают компенсаторы, так как вследствие разности температур транспортируемых продуктов и окружающей среды трубопроводы подвержены температурным деформациям. Обычно трубопроводы имеют значительную длину, поэтому их общая температурная деформация может оказаться достаточно большой и вызвать разрыв или выпучивание трубопровода. В связи с этим необходимо обеспечить способность трубопровода компенсировать эти деформации.

Изменение длины трубопровода зависит от его исходной длины, наибольшего температурного перепада и коэффициента теплового линейного расширения материала трубопровода и определяется по формуле

$$\Delta l = L_0 \alpha \Delta t ,$$

где L_0 – общая длина участка трубы, м; α – коэффициент линейного расширения материала 1 м трубы, м/м·град; Δt – температурный перепад между расчётной температурой теплоносителя (среды) и расчётной температурой наружного воздуха, град.

По конструктивным видам и принципу действия компенсаторы делят на следующие группы:

- **гибкие радиальные**, воспринимающие тепловые удлинения благодаря упругой деформации изгиба участков труб различной геометрической формы;
- **гибкие (упругие) осевого типа**, в которых изменения длины труб поглощаются специальными пружинящими элементами, имеющими форму линз, волн и деформирующимся в осевом направлении;
- **осевые скользящего типа**, в которых тепловые удлинения поглощаются путём вдвигания труб внутрь корпуса компенсатора через сальниковые уплотнения.

5.2.1. Гибкие радиальные компенсаторы

Гибкие радиальные компенсаторы изготовляют П-образными, S-образными, лирообразными и кольцеобразными.

Для надземных технологических трубопроводов преимущественно применяют П-образные компенсаторы, изготовляемые гнутыми из труб или сварными, с применением крутоизогнутых или сварных отводов.

Гнутые компенсаторы изготовляют из гладких бесшовных труб тех же марок сталей, что и основной трубопровод, и допускают к установке без снижения основных параметров работы всего трубопровода.

П-образные компенсаторы обладают большой компенсирующей способностью, их можно применять при любых давлениях. Однако они отличаются громоздкостью и требуют установки специальных опор. Обычно их располагают горизонтально и снабжают дренажными устройствами. Их рекомендуется применять для трубопроводов сравнительно небольших диаметров (600...800 мм).

5.2.2. Гибкие (упругие) компенсаторы осевого типа

К ним относятся линзовые и волнистые компенсаторы.

Линзовые компенсаторы предназначены для установки на трубопроводах диаметрами 100...2400 мм, транспортирующих неагрес-

сивные или малоагрессивные продукты при давлении до 1,6 МПа. По конструкции они аналогичны компенсаторам кожухотрубчатых теплообменников.

Компенсирующая способность одной линзы зависит от её диаметра и толщины стенки. В зависимости от необходимой компенсирующей способности применяют одно-, двух-, трёх- и четырёхлинзовые компенсаторы.

Для уменьшения сопротивления движению продукта внутри компенсаторов обычно устанавливаются стаканы; для спуска конденсата в нижних местах каждой линзы ввариваются дренажные штуцера.

Компенсаторы к трубопроводам присоединяют на сварке или при помощи фланцев.

Волнистые компенсаторы являются наиболее совершенными компактными компенсирующими устройствами, позволяющими устанавливать их на небольшом участке трассы трубопроводов.

Основной деталью волнистых компенсаторов различных типов является гибкий элемент, состоящий из эластичной и прочной гофрированной в виде волн оболочки, изготовленной из стали 08Х18Н10Т.

Волнистые компенсаторы (рис. 5.1) используют для трубопроводов с неагрессивными и среднеагрессивными средами при давлении до 6,4 МПа. Компенсатор состоит из гофрированного гибкого элемента 4, концы которого приварены к патрубкам 1. Ограничительные кольца 3 предотвращают выпучивание элемента и ограничивают изгиб его стенки. Снаружи гибкий элемент защищён кожухом 2, внутри имеет стакан 5 для уменьшения гидравлического сопротивления компенсатора.

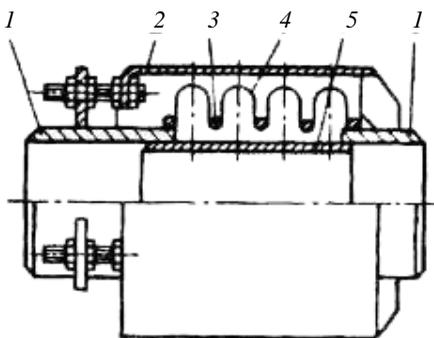


Рис. 5.1. Волнистый компенсатор:

1 – патрубок; 2 – кожух; 3 – ограничительные кольца;
4 – гибкий элемент; 5 – стакан

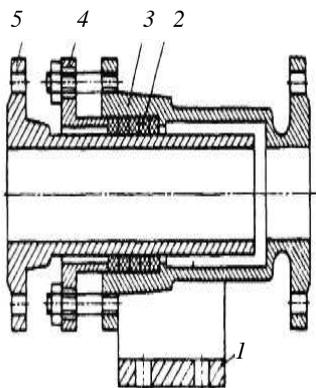


Рис. 5.2. Сальниковый компенсатор:
 1 – опора; 2 – набивка; 3 – корпус;
 4 – грундбукса; 5 – труба

Осевые компенсаторы скользящего типа. К ним относятся сальниковые компенсаторы. Их устанавливают на трубопроводах из чугуна и неметаллических материалов. Сальниковый компенсатор (рис. 5.2) состоит из корпуса 3, закреплённого на опоре 1, набивки 2 и грундбуксы 4. Компенсация температурных деформаций происходит за счёт взаимного перемещения корпуса 3 и внутренней трубы 5. Сальниковые компенсаторы имеют высокую компенсирующую способность, однако, из-за трудности обеспечения герметизации при

транспортировании горючих, токсичных и сжиженных газов их не используют.

5.3. ОПОРЫ И ПОДВЕСКИ

Трубопроводы укладывают на опоры, расстояние между которыми определяется диаметром и материалом труб. Для стальных труб с диаметром до 250 мм это расстояние составляет обычно 3...6 м. Для крепления трубопроводов применяют подвески, хомуты и скобы. Трубопроводы из хрупких материалов (стекла, графитовых композиций и др.) укладывают в закрытых лотках на сплошных основаниях.

Опоры для крепления трубопроводов подразделяют на неподвижные и подвижные. По способу крепления трубы к корпусу различают приварные и хомутовые опоры. Кроме того, опоры выполняют бескорпусными. При этом трубу крепят непосредственно к несущим конструкциям трубопровода.

Неподвижные опоры должны жёстко удерживать трубу и не допускать её перемещения в опоре. Такие опоры воспринимают вертикальные нагрузки от массы трубопровода и горизонтальные от тепловых деформаций трубопровода и сил трения подвижных опор, а также гидравлические удары, вибрацию и пульсацию. Неподвижные опоры (рис. 5.3, а) состоят из уголков 1, хомута 2 и башмака 3, жёстко связанных между собой болтами 4.

Подвижные опоры должны поддерживать трубопровод и не препятствовать его осевому перемещению. Они воспринимают только

вертикальную нагрузку от массы трубопровода с продуктом и изоляцией. В подвижных опорах (рис. 5.3, б), конструктивно аналогичных неподвижным, вместо нижнего болта 4 установлен ролик 5, свободно перемещающийся в отверстиях опорной пластины. Такие опоры необходимы периодически смазывать.

Из подвижных опор наиболее распространёнными являются скользящие опоры, перемещающиеся вместе с трубой по поверхности несущих конструкций трубопровода.

По характеру крепления труб различают подвижные опоры – скользящие, катковые и подвесные и неподвижные – хомутовые, приварные и упорные.

Скользкую опору применяют для трубопроводов, различных диаметров в непроходных каналах и других малодоступных местах; катковую опору – для трубопроводов диаметром 100 мм и выше с большим тепловым удлинением. Опоры такого типа устанавливают на кронштейнах, мачтах, этажерках и эстакадах. Подвесную опору применяют чаще в зданиях под перекрытиями и площадками для труб диаметром до 200 мм. Трубопровод из материалов с малым допуском на разрыв (чугун, фаолит, керамика и т.д.) не рекомендуется подвешивать на одной тяге.

Неподвижную хомутовую опору часто используют для укладки трубопроводов различного диаметра при небольших тепловых удлинениях или при отсутствии удлинений. При этом учитывают длину участков и непрямолинейность трассы.

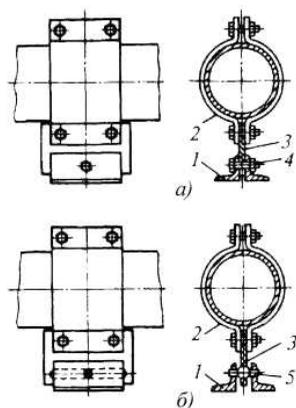


Рис. 5.3. Опоры для труб:

а – неподвижная; *б* – подвижная; 1 – уголок; 2 – хомут;
3 – башмак; 4 – болт; 5 – ролик

При разбивке мест под опоры необходимо правильно предусмотреть расположение компенсаторов и тех элементов трубопровода, которые должны оставаться неподвижными (тройники и крестовины). Если при тепловом удлинении магистрали тройник будет перемещаться вдоль оси трубопровода, это вызовет перемещение отходящей от него линии, расположенной перпендикулярно её оси, и повлечёт нарушение соединений. В связи с этим в местах расположения крестовин и тройников стараются разместить неподвижные опоры или так называемые «мёртвые» точки. При наличии теплового расширения трубопровода между двумя смежными «мёртвыми» точками должен быть помещён компенсатор. Крепления трубопровода в мёртвых точках должны обеспечивать неподвижность трубопровода в опоре.

К несущим конструкциям при прокладке трубопроводов относятся: кронштейны, подвески, стойки, этажерки. Каждая из них в зависимости от строительной конструкции, по которой прокладывается трубопровод, и в зависимости от массы трубы и количества прокладываемых труб имеет свои особенности.

Весьма широко распространены подвесные опоры, относящиеся к классу подвижных опор. Они практически не препятствуют перемещению трубопровода в горизонтальной плоскости в направлении его оси. Наиболее простая конструктивная форма подвесной опоры представляет собой подвеску в виде круглых тяжей. Как правило, трубопровод подвешивают за опорное кольцевое ребро. Работоспособность подвесных опор определяется их гибкостью, зависящей в основном от длины подвесок, которую следует принимать не менее 1,5...2 большего по величине диаметра трубопровода. При более коротких подвесках необходимо принимать меры по обеспечению перемещения трубопровода.

Подвески крепятся к металлическим, железобетонным балкам или перекрытиям; они могут иметь одну или две тяги, длину которых, регулируют муфтами. Тяги крепят к опорным конструкциям либо на сварке через проушину, либо шарнирно. Основными элементами подвески с одной тягой являются хомут, узел регулировки её длины, ушко и тяга.

5.4. РАСЧЁТ ТРУБОПРОВОДОВ

При расчёте диаметра трубопровода при передаче жидкости или газа по цилиндрическому трубопроводу делается допущение, что его сечение заполнено жидкостью целиком и что во время движения сохраняются постоянными следующие параметры: скорость, давление и сопротивление.

Секундный расход, т.е. количество Q_c протекающей жидкости или газа по цилиндрическому трубопроводу определяют по уравнению

$$Q_c = Fv = \frac{\pi d^2}{4} v,$$

где F – площадь сечения трубы, м²; v – скорость среды, м/с; d – диаметр трубы, м.

При определении часового расхода жидкости или газа уравнение принимает следующий вид:

$$Q_{\text{ч}} = 3600 \frac{\pi d^2}{4} v.$$

Из этого уравнения легко может быть определён диаметр трубопровода:

$$d = \sqrt{\frac{4Q_{\text{ч}}}{3600\pi v}}.$$

Скорость движения жидкости зависит от напора, её вязкости, материала и конструкции трубопровода и обычно принимается:

а) для воды и маловязких жидкостей (спирт, ацетон, бензин, слабые растворы кислот и щёлочей) – 1...2,5 м/с;

б) для жидкостей с большей вязкостью (масла, суспензии) – 0,5...1,5 м/с;

в) для сжатого воздуха и насыщенного пара – 20...30 м/с;

г) для перегретого пара и газов высокого давления – 30...60 м/с.

Расчёт труб на прочность

При определении основных размеров деталей трубопроводов учитывается только основная нагрузка в деталях – внутреннее давление.

Толщина стенки прямых участков трубопроводов вычисляется по формуле

$$s = s_R + C = \frac{pD_B}{2[\sigma]\phi - p} + C,$$

где s_R – расчётная толщина стенки, м; C – суммарная прибавка к расчётной толщине, м; p – расчётное давление, МПа; D_B – внутренний диаметр трубы, м; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение МПа; ϕ – коэффициент прочности сварного шва (принимается $\phi = 0,8$).

Для бесшовных труб $\varphi = 1,0$ и коэффициент прочности поперечного сварного шва не учитывается. Значение C рассчитывается по формуле

$$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

где C_1 – прибавка, учитывающая предельное минусовое отклонение по толщине стенки, м; C_2 – прибавка, компенсирующая потерю на коррозию, м; C_3 – прибавка для округления значения толщины до номинального выбранного по сортаменту трубы, м.

Для обеспечения достаточной толщины стенки в местах стыка труб необходимо учитывать, чтобы минимальная толщина стенки в месте стыка удовлетворяла условию:

$$s_0 \leq s_M \leq 0,5(D_{н\min} - d_{в\min}),$$

где s_0 – условная толщина стенки трубы ($s_0 = s_R$ при $\varphi = 1$), м; s_M – минимальная толщина стенки с учётом предельного минусового допуска наружного диаметра и предельного плюсового допуска внутреннего диаметра трубы, м; $D_{н\min}$ – минимальный наружный диаметр трубы, т.е. диаметр при предельном минусовом допуске, м; $d_{в\min}$ – максимальный внутренний диаметр трубы в месте стыка, т.е. диаметр при предельном плюсовом допуске, м.

5.5. 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.

Усилия, 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 жёсткости и применении специальных компенсаторных звеньев. Трубопроводные системы с низкой жёсткостью (гибкие системы) способны компенсировать температурные напряжения за счёт изгиба и поворота при рациональной расстановке опор. В жёстких 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.

Надёжность 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 крепёжных 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 надёжным 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 надёжно открываться и закрываться без приложения добавочных рычагов к маховику.

6. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА

Промышленное производство неразрывно связано с добычей, использованием и переработкой большого числа жидких и газообразных материалов, потоки которых должны направляться в соответствующее время в нужном направлении при помощи трубопроводов различного назначения. Управление потоками в трубопроводных системах, линиях и участках осуществляется с использованием устройств, объединённых общим названием – трубопроводная арматура.

До 30% от общего числа опасных ситуаций, которые привели или могли привести к авариям, связаны с трубопроводами и арматурой. Поэтому правильный подбор к конкретным условиям того или иного конструктивного типа арматуры и должная эксплуатация её в значительной степени определяют безаварийную работу химических производств.

По технологическому назначению арматура подразделяется на запорную, предназначенную для периодического включения или отключения потока жидкости или газа (краны, клапаны, задвижки, поворотные затворы); регулирующую – для изменения или поддержания на определённом уровне давления, температуры, уровня и расхода среды (регулирующие клапаны, регуляторы уровня, конденсатоотводчики); предохранительно-защитную – для предупреждения увеличения рабочих параметров или для предотвращения обратного движения среды (предохранительные и обратные клапаны); контрольную – для слежения за уровнем и наличием рабочего тела (пробно-спускные краны и указатели уровня).

По принципу действия каждый класс арматуры делится на арматуру приводную (с ручным, механическим, электрическим, электромагнитным, пневматическим, гидравлическим приводом) и автоматическую, действующую от самой рабочей среды или изменения её параметров.

Типовую арматуру выпускают на условное давление 1,6; 4; 6,4; 10 и 16 МПа. При выборе материала для изготовления арматуры учитывают температуру и свойства среды в трубопроводах и оборудовании. В энергетических установках и трубопроводах для горючих, токсичных, пожаро- и взрывоопасных сред, сжиженных газов и в других подобных случаях применяют только стальную арматуру. Арматуру из чугуна допускается применять для трубопроводов групп Аб и Ба при давлении до 1,6 МПа и температуре – 30...1500 °С. Обозначение группы определённой транспортируемой среды включает в себя обозначение

ние группы среды (А, Б, В) и обозначение подгруппы (а, б, в), отражающее класс опасности вещества.

Обозначение группы трубопровода в общем виде соответствует обозначению группы транспортируемой среды. Обозначение «трубопровод группы А (б)» обозначает трубопровод, по которому транспортируется среда группы А (б). Арматура из ковкого чугуна может использоваться для групп А, Б при давлении ниже 0,6 МПа и рабочем диапазоне температуры – 10...100 °С.

В любом случае для выбора арматуры должны быть известны следующие данные:

- 1) назначение арматуры, условия эксплуатации и соответствие их заданным условиям работы;
- 2) свойства рабочей среды, рабочее давление, рабочая температура, коррозионные свойства, вязкость среды;
- 3) требования к гидравлическим характеристикам арматуры, пропускная способность, расходная характеристика, класс герметичности и т.д.;
- 4) монтажные и габаритные требования: условный диаметр прохода, способ присоединения к трубопроводу, габаритные или весовые ограничения и др.;
- 5) возможные дополнительные требования в отношении надёжности, долговечности, взрывозащищённости привода и др.

Для отличия одного вида арматуры от другого по конструкции и применяемым материалам введены условные обозначения, состоящие из ряда букв и цифр, например 15С22нж. Первые две цифры обозначают тип арматуры (табл. 6.1), следующие за ними буквы – материал корпуса (табл. 6.2), цифры после букв – конструктивные особенности приводов арматуры (табл. 6.3), буквы после второй группы цифр – материал деталей уплотнений (табл. 6.4) или вид внутреннего покрытия корпуса (табл. 6.5).

Таблица 6.1

Тип арматуры	Обозначение
Кран	11
Вентиль	13, 14, 15
Клапан обратный подъёмный	16
Клапан предохранительный	17
Клапан обратный поворотный	19
Клапан запорный отсечной	22
Клапан регулирующий	25
Задвижка	30, 31
Конденсатоотводчик	45

Таблица 6.2

Материал корпуса	Обозначение
Углеродистая сталь	С
Нержавеющая сталь	нж
Серый чугун	ч
Ковкий чугун	кч
Бронза, латунь	б
Алюминий	а
Монель-металл	мн
Пластмасса	п
Винипласт	вп
Керамика, фарфор	к
Стекло	ст

Таблица 6.3

Привод	Обозначение
Пневматический	6
Гидравлический	7
Электромагнитный	8
Электродвигательный	9
Ручной с маховиком	22

Таблица 6.4

Материал уплотнительной поверхности	Обозначение
Бронза, латунь	бр
Монель-металл	мн
Нержавеющая сталь	нж
Баббит	бт
Кожа	к
Пластмасса	п
Винипласт	вп

Таблица 6.5

Внутренние покрытия	Обозначение
Гуммирование	ГМ
Эмалирование	ЭМ
Свинцевание	СВ
Футерование пластмассой	П

Таблица 6.6

Требования или условия эксплуатации	Рекомендуется	Допустимое
Герметичность	3; 7	2; 4; 5; 6
Абразивный износ	5; 7	1; 2
Быстродействие (1/4 об.)	4; 5; 6	2; 3
Высокое давление	2	5
Малые утечки в атмосферу	3; 7	2; 4; 5; 6
Низкая цена	6; 7	1; 4; 5
Небольшое усилие при управлении	3; 7	4; 5; 6
Коррозионная среда	7	2; 3; 5
Высокая температура среды	1	2; 6
Низкие температуры	2; 3; 5	1; 6

Известно, что около 80% всей арматуры приходится на долю запорной. В связи с этим в табл. 6.6 приведены рекомендации по их выбору.

Условные обозначения: 1 – задвижка; 2 – клапан тарельчатый сальниковый; 3 – клапан тарельчатый сильфонный; 4 – кран пробковый; 5 – кран шаровой; 6 – заслонка; 7 – клапан мембранный (диафрагмовый).

При выборе типа запорной арматуры – задвижки, вентиля, крана – следует руководствоваться общими положениями:

- основным типом запорной арматуры, рекомендуемым к применению для трубопроводов с условным проходом 50 мм и более, является **задвижка**, имеющая минимальное гидравлическое сопротивление, надёжное уплотнение затвора, небольшую строительную длину и допускающая переменное направление движения среды. Задвижки используются в трубопроводах, предназначенных для перемещения

газообразных и жидких сред при рабочем давлении до 20 МПа и температуре до 450 °С. К недостаткам задвижек относятся невозможность применения для сред с кристаллизирующимися включениями, не-большой допустимый перепад давлений на затвор (по сравнению с вентилями); трудность ремонта уплотняющих поверхностей;

- **вентили** рекомендуется применять для трубопроводов с D_y 50 мм, предназначенных для перемещения воды, пара, воздуха, жидкого и газообразного аммиака, нефтепродуктов, коррозионных сред при температурах – 200...450 °С и давлениях до 25 МПа, если при этом гидравлическое сопротивление запорного устройства не имеет существенного значения, а транспортируемые среды не являются сильно загрязнёнными. К преимуществам вентилей по сравнению с другими видами запорной арматуры следует отнести: возможность работы при высоких перепадах давлений, простоту конструкции, обслуживания и ремонта в условиях эксплуатации, относительно небольшие габаритные размеры и массу, меньший ход затвора, герметичность перекрытия прохода, исключение возникновения гидравлического удара;

- **краны** следует применять, если использование задвижек или вентилей по каким-либо соображениям недопустимо или нецелесообразно (например, на полимеризующих жидкостях, на линиях мазута, масел, на отпускных мерниках для спирта, на жидкостях, засорённых твёрдыми включениями, и т.п.). При этом краны эксплуатируются на трубопроводах, имеющих рабочее давление до 1 МПа и температуру среды до 120 °С.

Подробную информацию о назначении, конструкции, области применения обратной, дроссельной, конденсатоотводящей, дыхательной, регулирующей арматуры можно найти в специальной литературе.

6.1. ЗАЩИТА АППАРАТОВ ОТ ПРЕВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Технологическое оборудование, в котором возможно аварийное повышение давления, представляет серьёзную опасность при эксплуатации из-за возможности разрушения под действием давления рабочей среды. Поэтому во всех случаях, когда в аппарате может быть превышено предельно допустимое давление, определяемое его прочностью, аппарат должен быть надёжно защищён от разрушения с помощью различных предохранительных устройств (ПУ), работающих по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды.

Причинами аварийного повышения давления могут являться: ошибки обслуживающего персонала; отказ запорно-регулирующей арматуры; нарушение функционирования системы автоматического управления; внезапное разрушение внутренних устройств аппарата: труб, змеевиков, рубашек и т.п.; замерзание охлаждающей воды; вы-

ход из-под контроля химических реакций; интенсивный нагрев поверхности аппарата от внешнего источника, например в результате пожара, солнечной радиации и т.п.

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

В соответствии с требованиями Госгортехнадзора для аппаратов, работающих под давлением пара или газа, число ПУ, их размеры и пропускную способность выбирают таким образом, чтобы избыточное давление в аппарате P_1 при действии ПУ не превышало следующих допустимых значений:

P_p , МПа	$< 0,3$	$0,3 \dots 0,6$	$> 0,6$
P_1 , МПа	$P_p + 0,05$	$1,15 P_p$	$1,1 P_p$

Здесь P_p – наибольшее избыточное давление в аппарате при нормальном протекании технологического процесса.

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

В соответствии с особенностями работы ПУ подразделяют на две основные группы:

- многократно используемые устройства – предохранительные клапаны (ПК) с самодействующим замыкающим элементом;
- устройства одноразового действия – предохранительные мембраны – специально ослабленные элементы с точно рассчитанным порогом разрушения по давлению.

6.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

Предохранительная арматура исключает возможность недопустимо высокого давления в аппарате или трубопроводной системе путём 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. 6.1);
- 2) устройства одноразового действия – предохранительные мембраны (ПМ) – специально ослабленные элементы с точно рассчитанным порогом разрушения по давлению.

Предохранительные клапаны. По принципу действия различают следующие ПК:

- клапаны прямого действия (см. рис. 6.1, *a – д*), открывающиеся непосредственно под действием давления рабочей среды;
- клапаны непрямого действия (см. рис. 6.1, *e*), 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:

- грузовые ПК с прямым нагружением груза на золотник и рычажно-грузовые с нагружением через рычаг (рис. 6.1, *a*);

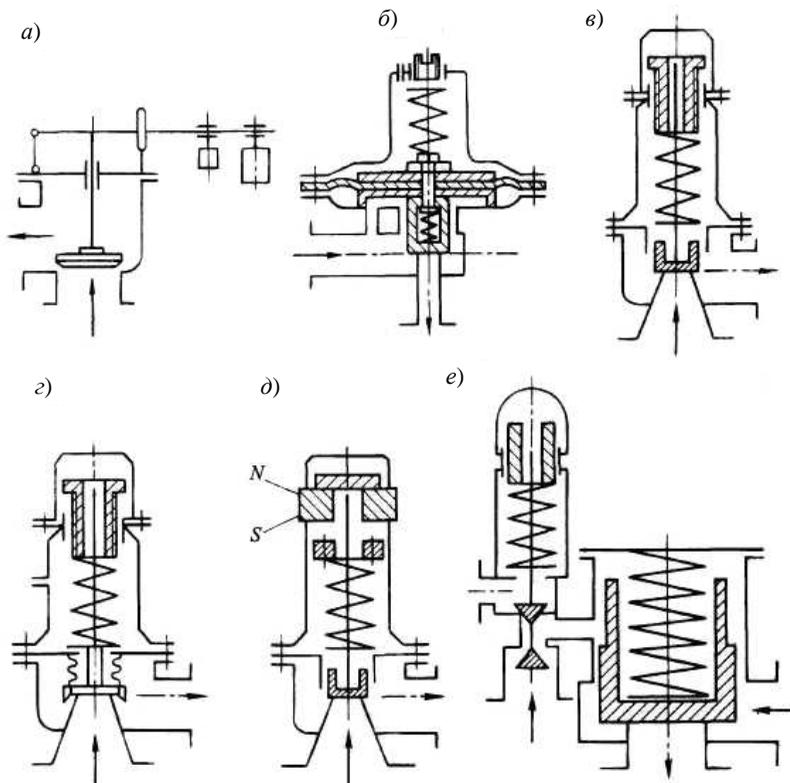


Рис. 6.1. Предохранительные клапаны:

- a – д* – прямого действия (*a* – рычажно-грузовые; *b* – с подачей среды на золотник и с чувствительным элементом в виде мембраны;
- e* – пропорционального действия; *c* – двухпозиционного действия с загрузочным элементом в виде сильфона; *d* – магнитно-пружинные);
- e* – непрямого действия с импульсом от рабочего давления

- 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;
- рычажно-пружинные клапаны (применяются очень редко);
- пружинные клапаны с прямым действием пружины на золотник (рис. 6.1, в, з); они просты по конструкции, обладают высокой чувствительностью и надёжностью в эксплуатации, благодаря чему нашли наиболее широкое распространение во всех отраслях промышленности;
- магнитно-пружинные ПК (рис. 6.1, 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:

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

- неразгруженные 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 предназначены для установки в линиях с малым сопротивлением на сбросе при постоянном статическом противодействии, изменение которого не рекомендуется допускать более 10%;
- разгруженные ПК (рис. 6.1, 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 подъёма замыкающего элемента:

- малоподъёмные пропорционального действия, в которых подъём золотника $h_{\max} \leq 0,05d_c$ (d_c – диаметр седла клапана). Лимитирующим сечением является щель, образованная между уплотняющими поверхностями золотника и седла. Малоподъёмными обычно выпол-

няют рычажно-грузовые, а также пружинные ПК. Установка их допускается при небольших расходах, в основном на жидких средах;

- среднеподъёмные, в которых достигается подъём золотника $h_{\max} = (0,083 \dots 0,1) d_c$. Лимитирующим сечением в них является щель. Среднеподъёмные ПК применяют преимущественно для жидкостей;

- полноподъёмные (высокоподъёмные) двухпозиционного действия, в которых достигается высота $h_{\max} \geq 0,25d_c$ (рис. 6.1, з). Лимитирующим сечением в них является самое узкое сечение в седле клапана с диаметром d_c . Полноподъёмные ПК характеризуются быстротой срабатывания на полный ход золотника. Время их открытия $0,008 \dots 0,04$ с. Полноподъёмными выполняют пружинные клапаны и клапаны непрямого действия.

По характеру подъёма замыкающего элемента:

- клапаны пропорционального действия (рис. 6.1, в), в которых подъём 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;

- клапаны двухпозиционного действия (рис. 6.1, 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:

- клапаны с подачей среды под золотник (рис. 6.1, в – д);
- клапаны с подачей среды на золотник (рис. 6.1, б). Чувствительным элементом здесь может служить поршень, сильфон или мембрана. При этом иногда седло может быть расположено на подвижном элементе, на который воздействует давление среды.

Клапаны непрямого действия (рис. 6.1, е). Эти ПК подразделяют на следующие типы:

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

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

- 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. 6.2) золотник 6 прижимается к седлу корпуса 5 рычагом 2 через шарнирно соединённый с ним шток 4. На рычаге 2 закреплён 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 малоподъёмными 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. 6.3) золотник 6 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 малоподъёмными и полноподъёмными и применяют для установки на аппараты и системы с любыми средами: как нейтральными (вода, пар и др.), так и с коррозионными, агрессивными и токсичными.

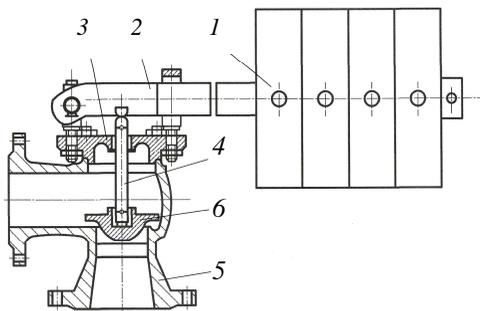


Рис. 6.2. Рычажно-грузовой клапан:

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

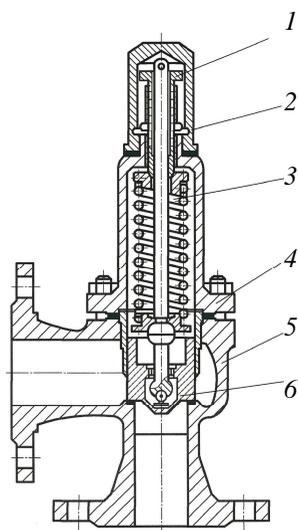


Рис. 6.3. Пружинный клапан:
 1 – резьбовая втулка; 2 – колпак;
 3 – пружина; 4 – крышка;
 5 – корпус; 6 – золотник

90% от разрывного. При этом исчерпывается почти весь запас пластических деформаций материала, поэтому значительно увеличивается быстроедействие мембраны.

Разрывные мембраны изготавливают обычно из тонколистового проката пластичных металлов: нержавеющей сталей марок 08X18H10T, 12X18H10T и др; никеля марок НП1, НП2, НП3, 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. 6.5) 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 сферическая мембрана 5 теряет устойчивость и очень резко с хлопком выворачивается в обратную сторону и, ударяясь о крестообразный нож 1, разрезается на четыре лепестка.

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. 6.4) – 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 её нагрузке давлением, составляющим около

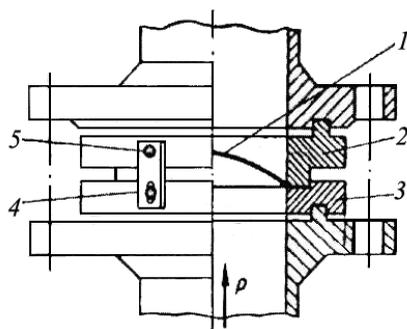


Рис. 6.4. Разрывная предохранительная мембрана с плоским зажимом:
 1 – мембрана; 2, 3 – зажимные кольца; 4 – планка; 5 – винт

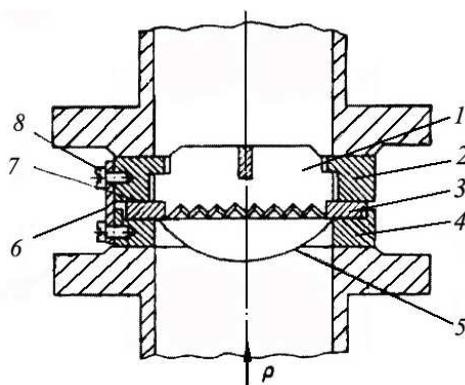


Рис. 6.5. Хлопающая предохранительная мембрана с плоским зажимом и зубчатым ножом:
 1 – нож; 2 – 4 – зажимные кольца; 5 – мембрана;
 6 – планка; 7 – прокладка; 8 – винт

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

Ломающиеся мембраны (рис. 6.6) очень широко применялись до недавнего времени (50% потребности мембран), но в настоящее время в ряде случаев их с успехом заменяют разрывными.

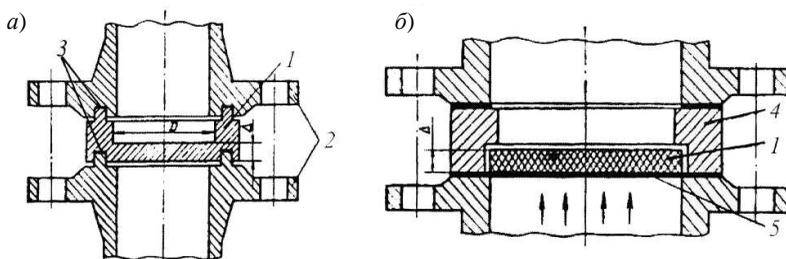


Рис. 6.6. Ломающиеся мембраны:

a – с выточкой; *б* – со свободной заделкой; 1 – мембрана; 2 – фланцы;
3 – прокладки; 4 – кольцо; 5 – плёнка

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. 6.6, *a*). 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 её ложное срабатывание сразу же при начальном нагружении рабочим давлением. Для устранения этого недостатка используются незащемлённые мембраны (рис. 6.6, *б*). Мембрана 1 свободно вставлена в выточку кольца 4, а для герметизации узла применена мягкая малопрочная плёнка 5.

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

Срезные мембраны (рис. 6.7). Они при срабатывании срезаются по острой кромке прижимного кольца 3, полностью освобождая проходное сечение для выхода газов.

Мембрана, представленная рис. 6.7, *a*, 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. 6.7, *б*, изготовлена из мягкого листового проката, а для увеличения жёсткости на изгиб в рабочей части имеет накладные диски 4. Зажимные кольца и накладные диски делают калёными из качественных сталей с остро заточенными режущими кромками.

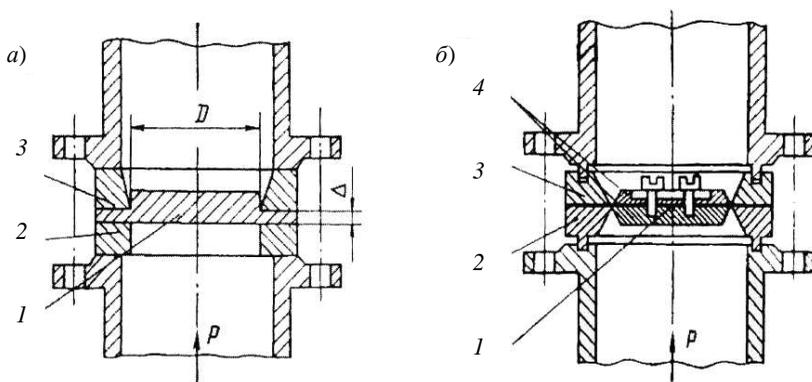


Рис. 6.7. Срезные мембраны:

a – 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. 6.8). Чаще всего они имеют вид колпачка с проточкой, образующей в нём ослабленное сечение. Давление срабатывания такой мембраны определяется разностью диаметров внешнего диаметра колпачка и диаметра проточки.

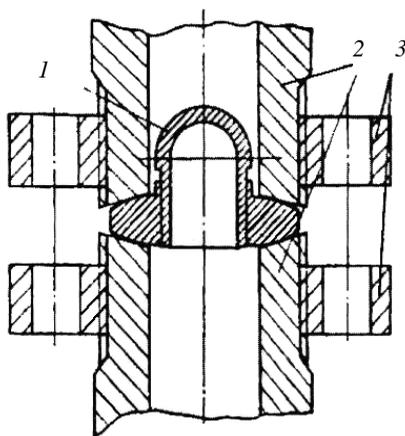


Рис. 6.8. Отрывная мембрана:

1 – мембрана; 2 – патрубки; 3 – фланцы

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.

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.

6.3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Чёткость 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 нём технологическая среда, так как выходное отверстие в мембране остаётся открытым до замены разрушенной мембраны. Это ограничивает применение ПМ.

Основным недостатком ПК по сравнению с ПМ является большая их сложность, и, следовательно, меньшая надёжность 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 среднеподъёмные – для гидравлических систем при небольших или переменных расходах различных сред; при этом рычажно-грузовые ПК нельзя применять на установках, подверженных вибрации;

б) разгружённые 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 надёжности защиты. Наиболее надёжными 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 надёжны 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.

Разнообразие условий работы оборудования и технических характеристик предохранительных устройств для создания наиболее эффективных систем защиты требует совместно использовать предохранительные клапаны и мембраны. При этом мембраны и клапаны располагают последовательно или параллельно. При последовательном соединении предохранительная мембрана устанавливается перед предохранительным клапаном. Она защищает клапан от агрессивного воздействия среды, а также препятствует залипанию запорного органа. Такое соединение предохранительных устройств обеспечивает высокую герметичность в рабочем состоянии, поэтому оно применяется в аппаратах с токсичными и ядовитыми веществами. Кроме того, при срабатывании данного устройства давление из защищаемого аппарата сбрасывается не полностью и, следовательно, не возникает необходимость останавливать технологический процесс.

К некоторым случаям мембрана может устанавливаться и после клапана. При этом обеспечивается полная герметичность предохранительного узла, а также возможность замены сработавшей мембраны без останова аппарата. Однако при такой схеме соединения не обеспечивается защита клапана от агрессивного воздействия среды.

Мембрану и предохранительный клапан целесообразно устанавливать параллельно в случаях, когда в аппарате возможен взрыв технологической среды. В этом случае клапан защищает аппарат от статического превышения давления при незначительных отклонениях технологического процесса от нормальных условий, а мембрана – от взрыва.

6.4. ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ МЕМБРАН

Для защиты аппаратов от превышения давления Госгортехнадзором разрешается устанавливать ПК, имеющие паспорта (сертификаты) и инструкцию по эксплуатации.

ПК следует устанавливать непосредственно на штуцере защищаемого аппарата в вертикальном положении: в вертикальных аппаратах – на верхней крышке, а на горизонтальных – на верхней образующей цилиндра. Диаметр штуцера, к которому присоединяют ПК, должен быть не менее диаметра приёмного патрубка клапана, между аппаратом и ПК не должно быть запорной арматуры. ПК закрытого типа можно устанавливать в любом месте технологических цехов и установок, клапан открытого типа – только вне помещений (за исключением клапанов для водяного пара и воздуха).

Технологическая среда, сбрасываемая через ПК, должна отводиться в безопасное место или в защитные системы на улавливание либо на сжигание в факеле (углеводородные продукты).

При сбросах среды в атмосферу через ПК применяют короткую вертикальную трубу, верхний обрез которой должен быть не менее чем на 3 м выше самой высокой рабочей площадки наружной установки, расположенной в радиусе 15 м от выхлопной трубы. Предпочтительнее иметь отдельную трубу для каждого ПК.

Новые и отремонтированные предохранительные клапаны перед монтажом регулируют на специальном стенде на установочное давление (давление срабатывания), а их затворы и разъёмные соединения проверяют на герметичность. Допустимое отклонение от давления срабатывания правильно отрегулированного полноподъёмного клапана $\pm 0,5\%$. Разница между давлениями срабатывания и закрытия клапана 3...5%. При проверке на герметичность в клапан со стороны выходного патрубка наливают воду так, чтобы её уровень был выше уплотнительной поверхности запорного органа. Затем под золотник клапана подают воздух под давлением, которое на 5% меньше давления его срабатывания. Отсутствие воздушных пузырьков свидетельствует о герметичности запорного органа.

Для повышения надёжности работы ПК подвергают периодической ревизии (разборка, дефектовка, чистка, сборка, настройка на давление срабатывания, проверка на герметичность, испытание). На аппаратах с нейтральными средами при температуре ниже 250 °С ревизию ПК проводят не реже одного раза в год; на аппаратах с агрессивными загрязнениями и полимеризующими средами, сжиженными газами, а также на аппаратах с температурой процесса более 250 °С – не реже одного раза в три месяца.

На аппаратах непрерывных процессов допускается устанавливать рабочий и резервный ПК. Рабочий и резервный клапаны должны устанавливаться на отдельных присоединительных патрубках, иметь одинаковую пропускную способность и обеспечивать в отдельности полную защиту аппарата от превышения давления.

Для уменьшения случаев выброса через рабочие ПК в атмосферу аппараты, содержащие взрывоопасные газы и вещества, отнесённые к I и II классам опасности по ГОСТ 12.1.007–75, должны иметь две системы ПК: рабочую – со сбросом в атмосферу; контрольную – со сбросом в закрытую систему (на улавливание или сжигание). Давление начала открытия контрольных ПК должно быть меньше давления начала открытия рабочих клапанов и не должно превышать расчётное давление в аппарате. Рабочие и контрольные ПК в отдельности должны обеспечивать полную защиту аппарата от превышения давления.

Если источником повышения давления является быстро отключаемый агрегат (компрессор, насос, нагревательный элемент), допускается вместо контрольных клапанов применять защитную блокировку, отключающую источники давления при достижении параметров, соответствующих началу открытия контрольных ПК. Защитная блокировка не может быть использована в случае, если источником повышения давления является неуправляемая химическая реакция.

При применении предохранительных клапанов следует иметь в виду, что они не обеспечивают хорошую герметичность защищаемого оборудования после нескольких срабатываний; не пригодны для защиты аппаратов, содержащих среды, склонные к осаждению, полимеризации, кристаллизации; им свойственна некоторая инерционность. Учитывая вышеперечисленные недостатки, в ряде случаев вместо предохранительных клапанов используются предохранительные мембраны.

Надёжность мембранных устройств существенно зависит от места расположения относительно центра зарождения взрыва. В связи с этим мембраны желательно устанавливать в наиболее высокой части аппарата, чтобы после их срабатывания в первую очередь удалялись скапливающиеся в аппарате пары и газы. При сбросе технологической среды непосредственно в атмосферу верхний конец сбросного трубопровода должен находиться значительно выше площадки обслуживания мембранного устройства. Кроме того, сброс должен быть направлен вверх, чтобы обезопасить обслуживающий персонал.

Диаметр сбросного трубопровода должен быть не менее диаметра выходного штуцера мембранного устройства. Сбросные трубопроводы при необходимости должны обогреваться и изолироваться. Обогрев мембранного узла и сбросного трубопровода (при температуре ниже 0 °С) нужен для предотвращения обмерзания, так как с понижением температуры давление срабатывания значительно возрастает. Воздействие высоких температур, наоборот, снижает разрывное давление и поэтому мембранный узел целесообразно теплоизолировать и иногда охлаждать.

Для исключения загрязнения атмосферы вредными парами и газами необходимо предусмотреть возможность сброса таких веществ в замкнутую систему или в резервные ёмкости. Противодействие в сбросных трубопроводах не должно превышать 10% давления срабатывания мембран.

Для предотвращения атмосферных воздействий, нарушающих нормальную работу предохранительных мембран, над сбросным трубопроводом могут устанавливаться зонты.

Вследствие ограниченного срока службы предохранительных мембран в конструкции аппарата необходимо предусмотреть их лёг-

кую, быструю и безопасную замену. Мембраны, срок службы которых истёк, меняют в период плановых остановок.

В тех случаях, когда замену мембраны необходимо производить без остановки работы оборудования (технологического процесса), применяют параллельную установку мембран. При этом в рабочих условиях нагрузку воспринимает одна мембрана, а другая – резервная. Мембраны устанавливают последовательно, если срок службы одной мембраны в конкретных рабочих условиях недостаточен из-за агрессивного воздействия технологической среды. При этом после разрушения нижней мембраны верхняя будет воспринимать нагрузку до тех пор, пока нижняя не будет заменена.

6.5. РАСЧЁТ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА ПО ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Давление в ёмкости не должно превышать максимально допустимое. Расчёт 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).

6.6. РАСЧЁТ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ МЕМБРАН НА ЗАДАННОЕ ДАВЛЕНИЕ СРАБАТЫВАНИЯ

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

При расчёте 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 .

Расчёт 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. 6.9) и толщиной s , закреплённая по контуру диаметром D .

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

$$p_1 = 2s_0\sigma_{вр}/R,$$

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

Толщину металлопроката мембраны со сплюсненным куполом определяют по формуле

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

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.

Расчёт хлопающих мембран. Хлопающая мембрана представляет собой тонкостенную сферическую оболочку, нагружённую внешним давлением; её расчёт базируется на теории устойчивости пологих сферических оболочек, деформации которых описываются дифференциальными уравнениями, решаемыми на ЭВМ. Для практических инженерных расчётов устойчивости тонкостенных оболочек можно рекомендовать следующее простое приближённое уравнение:

$$p_{кр} = KE(s^2/R^2),$$

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

Для создания наиболее благоприятных условий разрушения хлопающей мембраны после потери устойчивости купола радиус кривизны R должен быть минимальным. Для мембран с коническим защемлением (рис. 6.10, а) минимальный радиус можно найти по формуле

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

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

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

Для мембран с плоским защемлением (рис. 6.10, б) предел свободного выпучивания купола принято характеризовать предельным отношением высоты купола H к диаметру защемления D ; для указанных выше материалов $(H/D)_{max} \approx 0,2$.

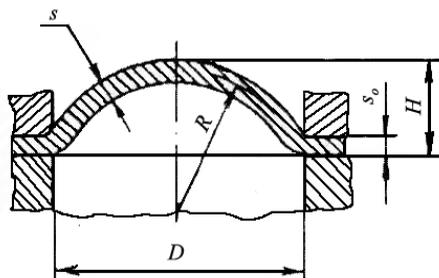


Рис. 6.9. Расчётная схема разрывной мембраны

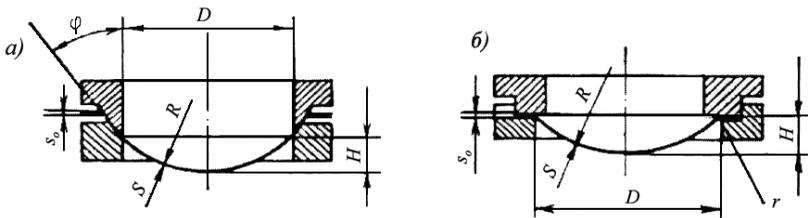


Рис. 6.10. Расчётные схемы хлопающих мембран:
a – с коническим зажимом; *б* – с плоским зажимом

С учётом этих соотношений для расчёта 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

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

Если же $p_c > K_2^2E/K_1$, то на некоторых участках купола, в частности, вблизи кромки защемления наблюдаются пластические деформации материала, и для расчёта 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.

Расчёт ломающихся мембран. На практике встречаются два вида ломающихся мембран, расчётные схемы которых существенно различаются. В первом случае (рис. 6.6, *a*) рабочая часть мембраны толщиной s выполнена как одно целое с её жёстким кольцом для зажима, во втором (рис. 6.6, *б*) мембрана *1* свободно вставлена в соответствующую выточку в кольце *4*, а для герметизации устройства применена тонкая малопрочная плёнка *5*.

При расчёте мембрану (рис. 6.6, *a*) можно рассматривать как круглую пластину, жёстко защемлённую по контуру. Если материал является настолько хрупким, что прогиб мембраны, предшествующий её разрушению, можно считать малым по сравнению с толщиной рабочей поверхности s , то при расчёте 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. 6.6, 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.

Расчёт срезных мембран. Расчётная схема срезных мембран предельно проста. Чтобы мембраны (рис. 6.7) 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 жёсткой, чтобы исключить влияние её изгиба на работу мембраны.

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

$$s = (D/4)(p_c/\tau_{ср}) ,$$

где $\tau_{ср}$ – предел прочности материала мембраны на срез.

Расчёт отрывных мембран. Отрывные (колпачковые) мембраны (рис. 6.8) рассчитывают из условия, что на колпачок в момент срабатывания действует сила $P = 0,25\pi D^2 p$ и отрыв его произойдёт, 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 расчётам на пропускную способность и заданное давление срабатывания проводят динамические расчёты мембран с целью определения полного раскрытия сбросного отверстия и изменения давления срабатывания мембран, обусловленное динамикой роста давления среды в аппарате.

7. ЗАЩИТНАЯ АРМАТУРА

Защитная (отсечная) арматура является одной из разновидностей предохранительной арматуры. Назначение защитной арматуры состоит в предотвращении аварийной ситуации в системах путём 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 путём 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 подъёмными и поворотными.

В **обратном подъёмном клапане** (рис. 7.1) 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. Подъёмные обратные клапаны обычно используются при малых значениях диаметра D_y и при чистых средах.

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

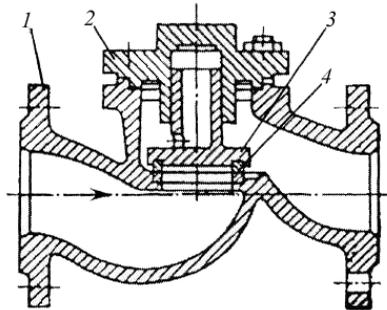


Рис. 7.1. Обратный клапан подъёмный:
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – золотник; 4 – седло

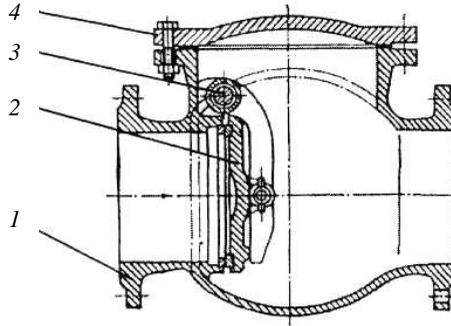


Рис. 7.2. Обратный клапан поворотный:
1 – корпус; 2 – диск; 3 – ось; 4 – крышка

В *обратных поворотных клапанах* (рис. 7.2) проходное сечение закрывается диском 2, поворачивающимся вокруг горизонтальной оси 3. Такие клапаны менее чувствительны к загрязнённости среды, но по герметичности уступают подъёмным клапанам.

8. ДИАГНОСТИКА – ОСНОВА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Для оценки технического состояния оборудования (диагностики) с целью его безопасной эксплуатации используются неразрушающие методы контроля с использованием физических полей излучений (магнитные, радиационные, рентгеновские, акустические и др.). 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.

8.1. ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Этот контроль основан на анализе взаимодействия оптического излучения объекта контроля и контролирующим прибором. 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 «вооружён» контрольными оптическими приборами, которые значительно расширяют пределы естественных возможностей зрения, то в данном случае имеет место визуально-оптический контроль оборудования.

Малая трудоёмкость 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, снижается производительность и надёжность контроля. Поэтому для визуально-оптического контроля в основном применяют оптические приборы с увеличением не более 20...30[×].

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, удалённых элементов объекта, загрязнений;
- определение типа и характера дефектов, обнаруженных другими методами дефектоскопии (ультразвуковым, цветным и др.).

8.1.1. Основные приборы визуально-оптического контроля

В общем случае функционирование приборов визуально-оптического контроля базируется на следующей структурной схеме: осветитель-приёмник 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 приёмника излучения условно делят на три группы: визуальные, детекторные и комбинированные. Если основным приёмником лучистой энергии является глаз – это визуальный прибор. Если приёмником 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...1 мкм при увеличении 10[×]...20[×]. Эти данные приведены для микроскопа типа МОВ-15[×]. Для микроскопов данного типа поле зрения составляет 1...20 мм. Для наблюдения прямого объёмного изображения объекта в отражённом и проходящем свете служат микроскопы типа МБС, которые могут обеспечивать увеличение до 100[×] при постоянном рабочем расстоянии равном 100 мм.

Лупы и микроскопы предназначены для контроля расположенных близко объектов наблюдения. Для контроля удалённых 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 уст-

ройств, 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, оптиковолоконные 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. 8.1 и включает в себя эти элементы: источник света 1; призматическую 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 изображён глаз наблюдателя 8 и объект контроля 9.

Сменные призматические насадки 3 позволяют производить наблюдения с кольцевым полем обзора или с боковым направлением визирования. Прибор снабжён шкалой для определения места положения дефекта. Обычно эндоскопы имеют жёсткую конструкцию, но есть приборы, которые имеют гибкие участки корпуса, изгибающиеся в пределах $5\dots 10$ градусов. 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.

В последнее время широкое применение в технике находят эндоскопы на основе оптических волокон (рис. 8.2 и 8.3). 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.

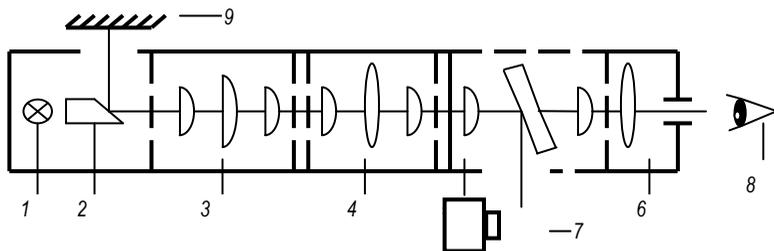


Рис. 8.1. Схема линзового эндоскопа

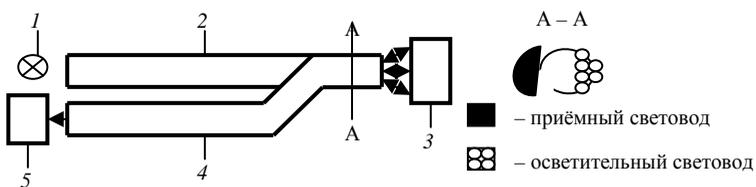


Рис. 8.2. Схема волоконно-оптического измерителя:

1 – источник света; 2 – световод осветительный; 3 – объект контроля;
4 – световод приёмный; 5 – приёмник изображения

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 рисунке 8.2 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. 8.3.

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.

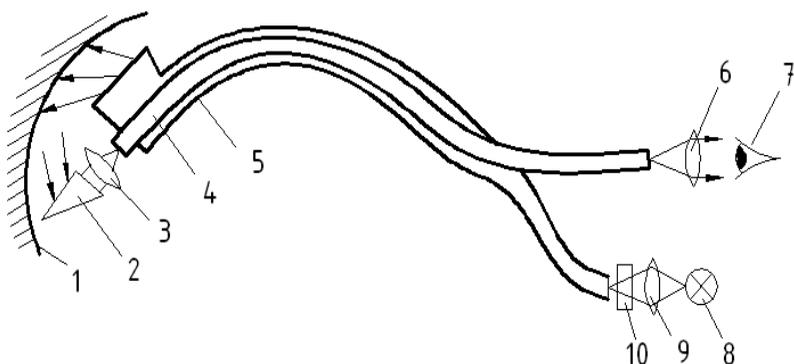


Рис. 8.3. Схема гибкого эндоскопа:

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

8.2. РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Неразрушающий контроль оборудования радиационными методами основан на способности ионизирующих излучений проникать (рис. 8.4) через конструкционные материалы (оптически непрозрачные) с той или иной степенью ослабления в зависимости от свойств изделия и воздействовать на регистрирующее устройство (детектор).

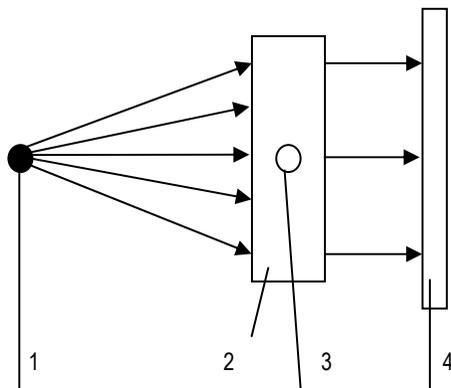


Рис. 8.4. Схема радиационного «просвечивания»:

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

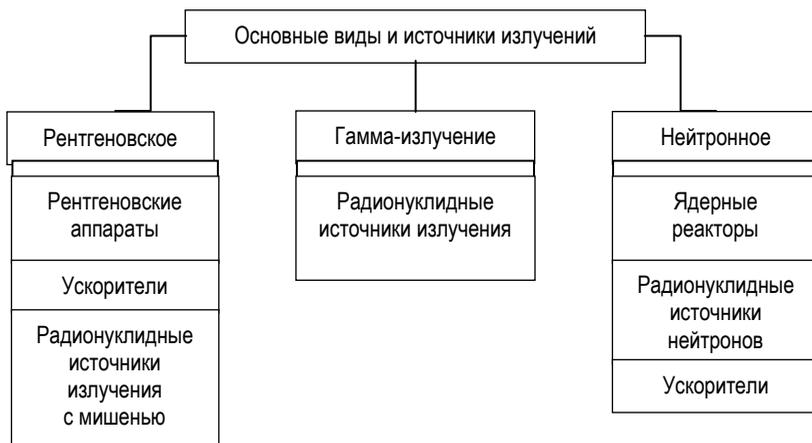


Рис. 8.5. Классификация источников ионизирующих излучений

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. Эти ионизирующие излучения, как радиоволны, видимый свет, ультрафиолетовые и инфракрасные лучи являются по природе своей электромагнитными колебаниями, но с малой длиной волны $0,3...5 \cdot 10^{-5}$ нм.

Основные виды источников излучения условно делят на три группы (рис. 8.5).

Для диагностики технологического оборудования, сооружений и трубопроводов чаще всего используют рентгеновское и гамма-излучение.

В настоящее время для реализации радиационных методов контроля используют до десяти видов ионизирующих излучений. Широкое распространение нашли два: рентгеновское и гамма-излучение. Эти ионизирующие излучения, как радиоволны, видимый свет, ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, являются по природе своей электромагнитными колебаниями, но с малой длиной волны $0,3...5 \cdot 10^{-5}$ нм.

8.2.1. Оборудование для радиационных методов контроля

Рентгеновские аппараты.

Основными элементами 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 $10^{-6}...10^{-8}$ мм рт. ст., в который впаяны два электрода. Схема просвечивания такой трубкой представлена на рис. 8.6.

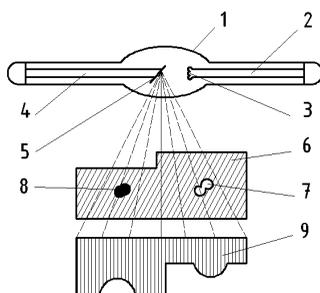


Рис. 8.6. Схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки:

- 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 – эюра интенсивности излучения за объектом

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

Принцип действия аппарата следующий. Питающее напряжение от электросети подаётся на автотрансформатор. С помощью корректоров регулировки по вольтметру устанавливается требуемое напряжение в зависимости от свойств контролируемого объекта. Затем это напряжение подаётся на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. От него высокое напряжение (до нескольких сотен кВ) 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 неё 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 б.

Электронный пучок генерирует излучение на определённой 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 микрофокусные, когда диаметр пятна менее 100 мкм. Проекция фокусного пятна в направлении выхода лучей называется эффективным фокусным пятном.

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, соединённых между собой высоковольтным кабелем. В моноблочных эти элементы находятся в одном блоке. Моноблочные рентгеновские аппараты легче и компактнее кабельных.

В промышленности широко применяют также гамма-дефектоскопы. Источниками ионизирующего излучения для гамма-дефектоскопов служат радионуклиды, которые в целях безопасности помещают в герметичные ампулы из коррозионно-стойкой стали или других материалов, исключаящих излучение радиоактивных веществ в окружающую среду (рис. 8.7). Изотопы для гамма-дефектоскопов получают в ядерных реакторах облучением неактивных заготовок потоком нейтронов (^{60}Co , ^{192}Ir) или разделением остаточных продуктов ядерно-

го 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. 8.8.

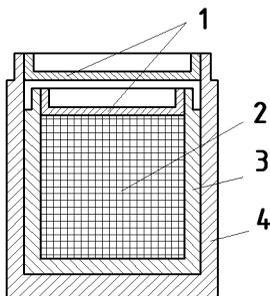


Рис. 8.7. Схема ампулы источника гамма-излучения (^{137}Cs):

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

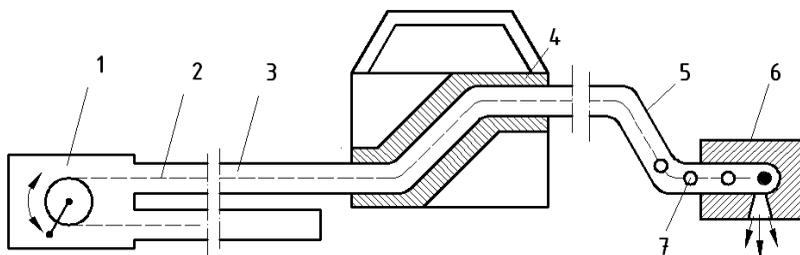


Рис. 8.8. Схема гамма-дефектоскопа шлангового типа:

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

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 вне рабочего положения ампула с источником излучения. Ампула в рабочее положение подаётся 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.

8.2.2. Детектирование при радиационном контроле

Как отмечалось выше, фиксирование дефектов в объекте контроля при просвечивании ионизирующими источниками производится одним из следующих трёх способов детектирования (рис. 8.9): радиографическим, радиоскопическим или радиометрическим.

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

Различают плёночную радиографию и электрорадиографию. В случае плёночной радиографии детектором и регистратором изображения служит фоточувствительная плёнка. Основным детектирующим элементом такой рентгеновской плёнки является фотоэмульсионный слой толщиной 0,01...0,03 мм, нанесённый на подложку. На рисунке 8.10 представлен в увеличенном виде разрез плёнки. При электрорадиографии используют в качестве детектора полупроводниковую пластину, а в качестве регистратора – бумагу.

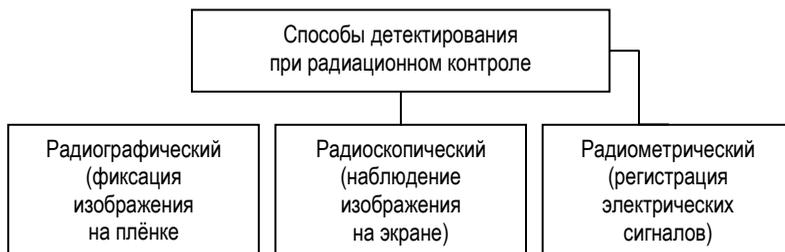


Рис. 8.9. Классификация способов детектирования

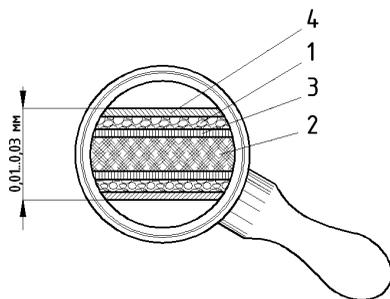


Рис. 8.10. Схема строения рентгеновской плёнки:

1 – эмульсионный слой; 2 – подложка; 3 – подслои; 4 – защитный слой

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, но 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.

8.2.3. 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 поглощённой 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 поглощённые дозы суммируются организмом и в дальнейшем проявляются в соответствии с приведёнными выше данными.

Чувствительность к ионизационному излучению органов человеческого тела различна. В порядке убывания чувствительности установлены три группы критических органов: 1 группа – всё тело, красный костный мозг; 2 группа – мышцы, щитовидная железа; жировая ткань; печень, почки, селезёнка, желудочно-кишечный тракт, лёгкие, 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 следующая ПДД облучения всего тела: 2,8 мР/ч и если принять, что в рабочей недели t часов, то $ПДД = 100/t$ мР/ч.

Для обеспечения радиационной безопасности используют различные методы защиты от ионизирующего излучения. Распространёнными способами защиты являются: защита расстоянием и ослабление излучения экраном из тяжёлого 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 двух 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 дозиметрии и радиометрии для индивидуального контроля полученной дозы и для контроля загрязнённости поверхности помещений.

8.3. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

8.3.1. Физические основы акустических методов

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

- 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 «мёртвых» 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 для изучения кинетики разрушения изделий, что позволяет прогнозировать их надёжность.

Акустические методы контроля основаны на распространении и отражении упругих волн в упругих средах. При этом частицы среды не переносятся, а совершают колебания с определённой 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 λ – длина волны связаны следующей зависимостью: $\lambda = c/f$.

Для реализации акустических методов используют упругие колебания в звуковом диапазоне с частотой от 20 до $2 \cdot 10^4$ Гц и в ультразвуковом от $2 \cdot 10^4$ до 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 её, поглощаясь средой, переходит в тепловую энергию, а часть рассеивается зёрнами 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. 8.11).

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 её электродах возникает переменное электрическое напряжение с частотой приложенных механических колебаний (прямой пьезоэффект).

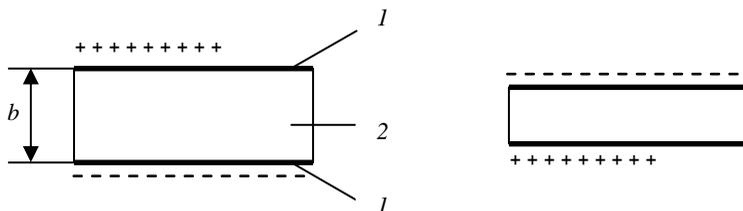


Рис. 8.11. Пьезопреобразователь:

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

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 её толщины и скорости упругих волн.

8.3.2. Методы ультразвуковой дефектоскопии

Для ультразвуковой диагностики оборудования используют чаще всего три метода обнаружения дефектов: эхо-импульсный, теневой и зеркально-теневой. **Эхо-импульсный** метод реализуется путём ввода в объект контроля импульса ультразвука и приёма отражённого от дефекта эхо-сигнала, который и свидетельствует о наличии несплошности. Фиксирование отражённого ультразвука (амплитуды сигнала) от границ объекта контроля и от дефекта осуществляется с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). По времени между вводом импульса и приёмом отражённого эхо-сигнала от дефекта судят о глубине его залегания (рис. 8.12).

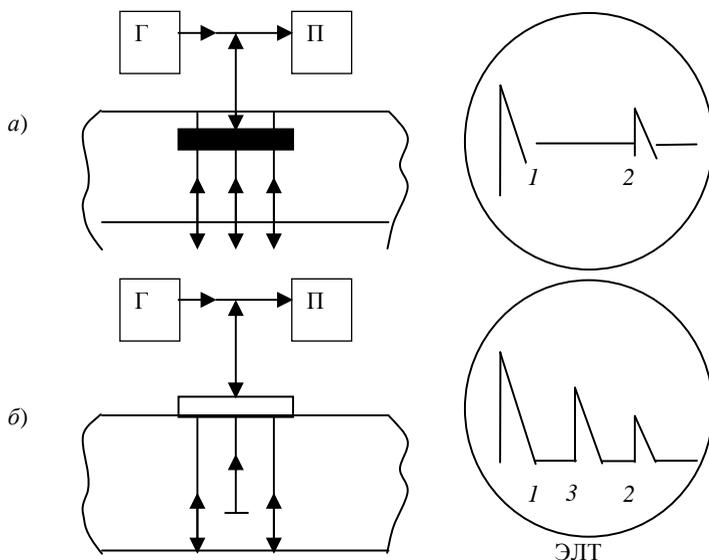


Рис. 8.12. Схема ультразвукового контроля эхо-импульсным методом:
a – без дефекта; *б* – с дефектом; Г – генератор ультразвуковых колебаний; П – приёмник; ЭЛТ – электронно-лучевая трубка;
 1 – зондирующий импульс; 2 – донный импульс; 3 – импульс от дефекта

Теневой метод характеризуется тем, что излучатель (один излучатель, другой приёмник) располагаются на противоположных поверхностях объекта контроля. Ультразвук проходит через контролируемое сечение, и о наличии дефекта судят по уменьшению амплитуды (интенсивности) сигнала (рис. 8.13). Для этого метода можно использовать как импульсный, так и непрерывный режим излучения ультразвука.

Зеркально-теневой метод отличается от рассмотренных выше методов тем, что наличие дефекта определяется по уменьшению амплитуды эхо-сигнала, отражённого от противоположной (донной) поверхности объекта и ослабленного этим дефектом (рис. 8.14).

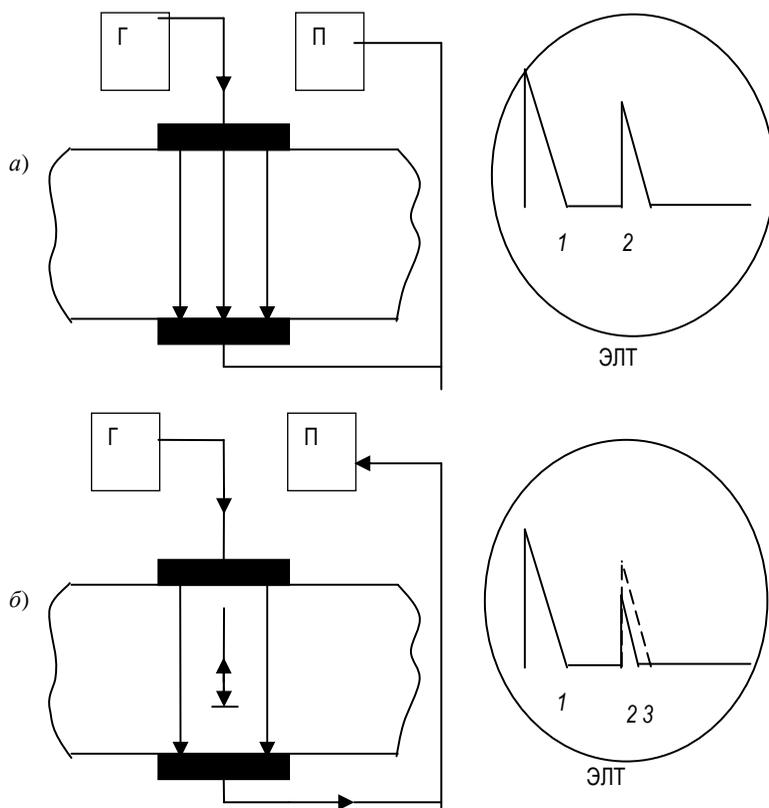


Рис. 8.13. Схема ультразвукового контроля теньевым методом:
a – без дефекта; *б* – с дефектом; Г – генератор ультразвуковых колебаний; П – приёмник; ЭЛТ – электронно-лучевая трубка;
 1 – зондирующий импульс; 2 – донный импульс; 3 – импульс от дефекта

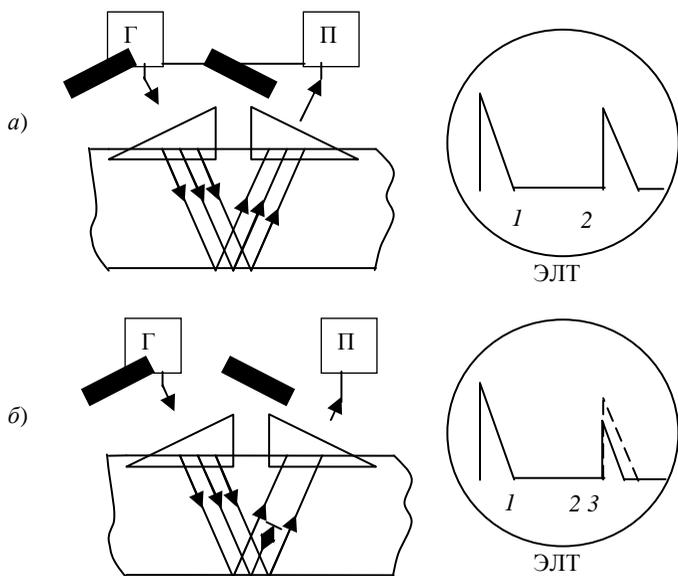


Рис. 8.14. Схема ультразвукового контроля зеркально-теневым методом:
a – без дефекта; *б* – с дефектом; Г – генератор ультразвуковых колебаний;
 П – приёмник; ЭЛТ – электронно-лучевая трубка;
 1 – зондирующий импульс; 2 – донный импульс; 3 – импульс от дефекта

Каждый из рассмотренных методов имеет определённую 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-теневой, а также позволяет совместить в одном искателе функции излучателя и приёмника.

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

8.3.3. 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, которая представлена на схеме (рис. 8.15).

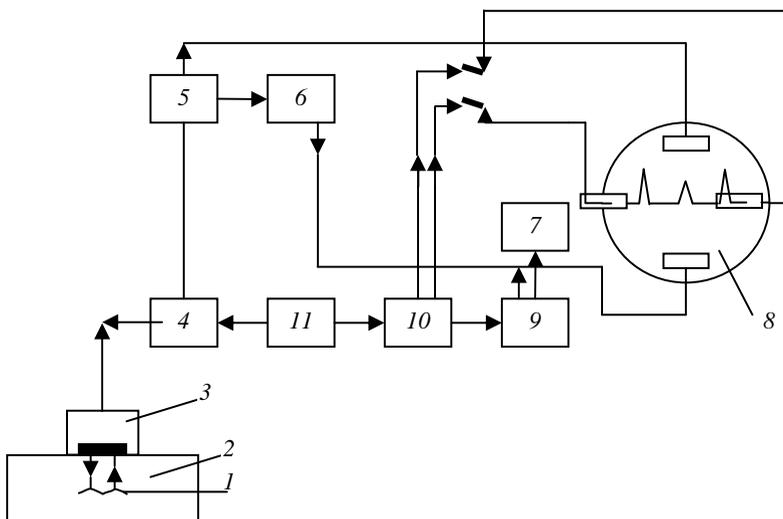


Рис. 8.15. Схема дефектоскопа:

1 – дефект; *2* – объект контроля; *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 развёртки; *11* – генератор синхронизирующих импульсов

Согласно схеме, генератор синхронизирующих импульсов *11* вырабатывает импульсы для пуска генератора зондирующих импульсов *4* и генератора развёртки *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 *5* в электрическую энергию высокой частоты. Затем она передаётся на ЭЛТ *8* дефектоскопа и на блок *6* автоматической сигнализации дефекта (АСД). Синхронно с зондирующими импульсами на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ подаётся напряжение от генератора развёртки *10*. На экране ЭЛТ появляется горизонтальная линия развёртки с первым импульсом, называемым зондирующим. Второй импульс на линии развёртки является эхо-сигналом, который отражается от противоположной поверхности объекта (донный импульс). В случае если объект имеет дефект, то часть энергии, отразившись от дефекта, даёт также импульс на линии развёртки, который располагается между зондирующим и донным. Электронная лупа *7*

служит для увеличения масштаба изображения участка контроля. Определив с помощью глубиномера l 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.

Важным элементом рассматриваемой схемы является искатель 3. Он состоит из корпуса, одного или двух пьезоэлементов, электродов, демфера и разъёма. 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: подготовке объекта и аппаратуры; выявлению 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 отражённым лучом (рис. 8.16).

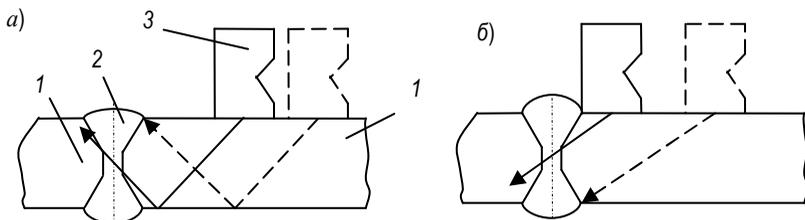


Рис. 8.16. Схемы контроля стыковых сварных соединений:

a – прямым лучом; *б* – однократно отражённым лучом;

1 – свариваемые элементы; *2* – шов; *3* – искатель

Ширина зоны зачистки составляет 80...250 мм при толщине свариваемых элементов до 60 мм. Подготовка аппаратуры для ультразвуковой диагностики имеет своей целью обеспечение надёжности 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 определённом расстоянии от точки ввода волн в плоскости, перпендикулярной к направлению прозвучивания.

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

8.4. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

8.4.1. 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: магнитополюсковый 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 напряжённостью и индукцией. Если объект контроля поместить в магнитное поле и усиливать его напряжённость,

то индукция самого материала объекта будет расти сначала быстро, затем медленнее и, наконец, прекращается – наступает насыщение. Если снять напряжённость намагничивающего поля, то в материале объекта будет иметь место остаточная индукция (остаточная намагниченность материала).

Если намагничиваемый материал сплошной, то магнитный поток в нём 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. 8.17). Над дефектом магнитное поле называется полем рассеяния. Поле рассеяния проявляется максимально, если дефект расположен перпендикулярно направлению магнитного потока.

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

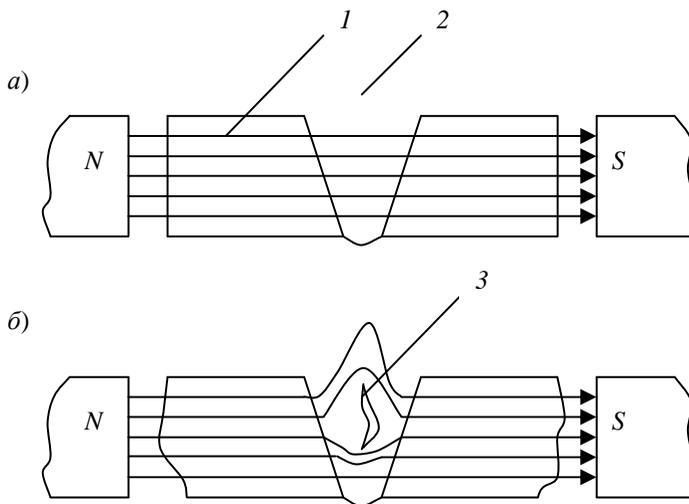


Рис. 8.17. Распределение магнитного потока в свариваемых деталях:

а – без дефекта; *б* – с дефектом;

1 – свариваемый материал; *2* – сварной шов; *3* – дефект

8.4.2. 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, разложением окалины железа, окислением магнетита. В зависимости от цвета контролируемого объекта для лучшей визуализации дефекта используют порошки чёрного, кирпично-красного цвета и магнито-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 невооружённым глазом. Если используют магнитно-люминесцентные порошки, то для освещения объекта применяют ртутно-кварцевые лампы. Освещённость 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.

8.4.3. 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.

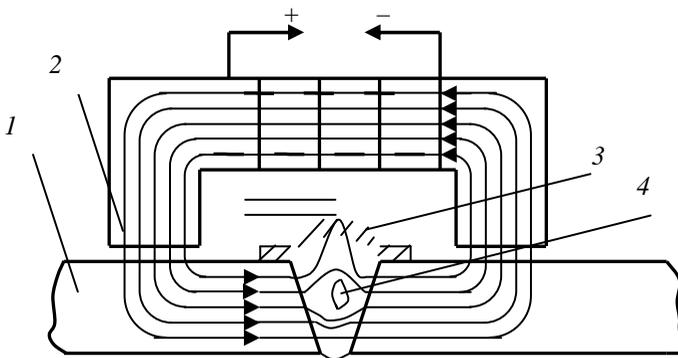


Рис. 8.18. Схема проведения магнитографического контроля сварного шва:

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

На рисунке 8.18 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 объясняется 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 передаётся на электронно-лучевую трубку для анализа.

8.5. 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 цветоконтрастных 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 осветлённого керосина, 200 мл скипидара марки А, 15 г тёмно-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.

8.6. ВЫБОР МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

Кроме рассмотренных выше методов неразрушающего контроля существуют и другие: вихретоковые, радиоволновые, электрические, оптические, тепловые, течеискания, и вибрационные. Теоретические

основы и средства реализации их наиболее полно представлены в работе. Кроме того, используют для диагностики и разрушающие методы, например, сверление стенки ёмкостного аппарата с последующим замером её 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 ёмкостного 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 её проведения составляется соответствующая программа. В соответствии и 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. Расчёт на прочность.
4. Анализ результатов диагностирования.
5. Определение остаточного ресурса.
6. Выводы и рекомендации по безопасной эксплуатации оборудования.

8.7. ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Для обеспечения надёжной эксплуатации оборудования необходимо знать остаточное время его работы (остаточный ресурс). Основой для определения остаточного ресурса являются результаты технического диагностирования и анализ условий его эксплуатации. Заклю-

ние, 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 берётся по тому критерию, который даёт наименьшее значение остаточного времени. Следует отметить, что если расчётный остаточный ресурс превышает 10 лет, то его принимают равным 10 годам.

8.7.1. Прогнозирование ресурса оборудования, подвергающегося коррозии или эрозии

Расчёт ресурса по данному критерию ведётся по следующей зависимости:

$$T_{к(с)} = (S_{\phi} - S_p) / a,$$

где S_{ϕ} – фактическая минимальная толщина стенки, мм; S_p – расчётная 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:

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

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, от скорости, рассчитанной по более точным нелинейным законам изменения контролируемого параметра.

Коэффициенты K_1 и K_2 выбираются на основе анализа результатов расчёта 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.

8.7.2. Прогнозирование ресурса оборудования, работающего при циклических нагрузках

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

Ресурс циклической работоспособности сосуда определяется по выражению:

$$T_{\text{ц}} = T_3[N]/N_s,$$

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 $S_{\text{ф}}$, определённые при толщинометрии с учётом прибавки на коррозию на момент исчерпания ресурса циклической работоспособности сосуда $T_{\text{ц}}$. Остаточный ресурс определяется по формуле

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{ц}} - T_3.$$

Следует отметить, что если ресурс, рассчитанный по данным формулам, оказался исчерпанным, то необходимо провести диагностику этого оборудования и подвергнуть 100% 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 выше мест. Такая диагностика должна проводиться через промежутки времени, за которые число циклов нагружения сосуда не превосходит $0,1[N]$. Интервалы времени между диагностическим контролем 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 механи-

ческих 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. Определённый при этом ресурс циклической долговечности может быть распространён на аппараты, которые имеют однотипную конструкцию, изготовленные из одного конструкционного материала и эксплуатируемые в одинаковых условиях.

8.7.3. 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 путём испытания образцов, изготовленных из контрольных вырезок или путём замера твёрдости металла (ГОСТ 1497–90, ГОСТ 9651, ГОСТ 111-50–90).

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

В случае снижения механических свойств металла оказалось более 5% от нормативных, то определяют скорость снижения механических свойств аналогично определению скорости коррозии по РД 03-421–01 «Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов» и путём экстраполяции определяют механические свойства материала к концу ожидаемого периода эксплуатации, а затем и остаточный ресурс.

8.7.4. Определение остаточного ресурса оборудования в условиях ползучести конструкционного материала

Для оборудования, работающего в условиях повышенной температуры, необходимо определять остаточный ресурс с учётом 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 расчётах на прочность допускаемое напряжение определяется по пределу длительной прочности или 1% предела ползучести для заданного срока эксплуатации (10^5 ч).

Предел длительной прочности (1% предел 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 – расчётная толщина стенки, определённая 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, то общий ресурс сосуда может быть определён 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

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

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 по линейному закону, от скорости ползучести, рассчитанной по более точным нелинейным законам изменения контролируемого параметра.

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%.

В случае проведения очередного диагностирования имеются три или более значений контролируемого параметра L , то 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».

8.7.5. 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

$$[K_1] = K_{1 \text{ кр}} / n_{\text{к}},$$

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

Критический коэффициент интенсивности напряжений $K_{1 \text{ кр}}$ 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 расчётного срока $T_{пр}$, от объёма контроля при техническом диагностировании и от вероятности хрупкого разрушения по выражению:

$$T_{хр} = bT_{пр},$$

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

8.8. ЭЛЕКТРОННОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ К РАЗДЕЛУ

Процесс внедрения новых информационных и телекоммуникационных технологий во все сферы жизни современного общества совершенно очевиден. Инженер должен владеть этими технологиями как будущий руководитель производственных подразделений и разработчик обучающих программ. Развитие этого процесса в сфере образования повлекло за собой множество методических, организационных и теоретических проблем. Здесь рассматривается только одна из них, а именно – структура электронного учебника с позиции ближайшей перспективы, которую обеспечивает процесс развития и совершенствования теории и техники информационных систем.

Конечная цель обучения состоит в том, что обучаемый должен владеть теоретическими основами изучаемого предмета, уметь применять их для решения конкретных задач и иметь навыки практического применения этого умения. Для достижения этих целей предусмотрены *лекции, практические занятия и лабораторные практикумы*. Эти виды занятий поддерживаются соответствующей литературой, причём практика преподавания выработала соответствующие виды изданий: учебник и учебные пособия – для изложения заданий, задачки и методические указания – для развития умения и навыков.

Какие же изменения уже произошли и происходят с этой дидактической триадой в связи с общим развитием системы знаний и информационных технологий? Их можно сформулировать следующим образом:

- инженерная практика требует интеграции знаний, придания им системного характера;
- современные технические средства в сочетании с пакетами прикладных программ позволяют избавить инженера от рутинных операций по применению известных теоретических методов для решения конкретных задач;
- сложность решаемых задач и ответственность за правильность принимаемых решений значительно повышают роль математического моделирования (имитационного, аналитического, численного) реальных объектов и процессов.

С этих позиций следует рассматривать требования к информационному обеспечению учебного процесса (этот термин имеет весьма общий характер, покрывая все источники, откуда обучающийся может получать информацию, необходимую для своего профессионального становления):

- информационное обеспечение должно обеспечивать *минимум информации*, необходимой для овладения специальностью или отдельной дисциплиной в объёме, предусмотренном образовательными стандартами, и в то же время должны быть предусмотрены возможности расширения области знания;

- нет смысла структурировать информационное обеспечение учебного процесса в соответствии с классической триадой (знания, умения, навыки);

- общая организация информационного обеспечения должна исключить (или, по крайней мере, свести к минимуму) участие *учителя* в обучении рутинным операциям профессиональной деятельности;

- условия работы с информационным обеспечением должны удовлетворять основным эргономическим требованиям;

- необходимо учитывать, что значительный объём информации хранится в форме баз данных и баз знаний, т.е. в форме электронных документов.

Одним из вариантов построения информационной системы обеспечения учебного процесса, удовлетворяющей перечисленным требованиям, может быть следующий. Основу системы составляет база данных – совокупность информационных массивов, каждый из которых является отдельным функционально законченным фрагментом информационного обеспечения (например, разделом учебника). Каждый такой фрагмент организуется таким образом, чтобы допускать управляемое логическое и техническое (программное) соединение с некоторой совокупностью других фрагментов. Это и будет электронный учебник, который представляет собой гипертекстовую систему с адаптивными

связями между фрагментами, обеспечивающую возможность адаптивной компоновки нелинейного текста. Маршрутизация компоновки формируется навигатором, входящим в состав системы управления базой данных. Он даёт указания компоновщику гипертекста об объединении соответствующих фрагментов. Управление навигатором осуществляется по нескольким контурам:

- 1) непосредственно пользователем в процессе работы;
- 2) пользователем по результатам анализа процесса обучения;
- 3) программой-анализатором по результатам автоматического тестового контроля знаний пользователя;
- 4) учителем по результатам личного общения с учащимся.

Какие же дополнительные (по сравнению с бумажным учебником) средства должны содержаться в электронном учебнике? Это, во-первых, система самопроверки знаний; во-вторых, электронный учебник должен удовлетворять требованиям совместимости с электронной экзаменационной системой. Естественно, все эти дополнительные электронные средства должны давать возможность организовывать сравнительно простые схемы дистанционного образования.

Обратимся к системе самопроверки знаний в электронном учебнике и рассмотрим, каким требованиям она должна удовлетворять:

- главное требование к системе самопроверки знаний (самоконтроля) заключается в том, что тестовых вопросов должно быть много и совокупность этих вопросов по содержанию должна охватывать весь материал учебника. Кстати, эти вопросы могут быть использованы для экзаменационного тестирования;

- вопросы должны подаваться испытуемому в случайном порядке. Это исключает возможность механического запоминания обучаемым последовательности вопросов;

- испытуемый должен каждый раз читать вопрос и осмысливать его, т.е. запоминать вопрос по смыслу, а не по порядку его следования или символу, его обозначающему;

- целесообразно всю совокупность вопросов распределить по темам, чтобы обучающийся мог проверить уровень усвоения им учебного материала после изучения каждой темы (а также организовать рубежный контроль знаний);

- компьютерный тест должен быть простым в использовании, представление вопросов на экране должно быть спроектировано дизайнером, а возможные действия обучающегося при ответе на вопрос продуманы эргономистом. В любом случае на экране должен быть минимум управляющих кнопок, и инструкции-подсказки по действиям обучающегося должны появляться только в нужное время в нужном месте, а не присутствовать на экране постоянно, загромождая его;

- тестовые вопросы и варианты ответов на них должны быть понятными по содержанию.

Технологии компьютерного образования не только стоят в одном ряду с традиционными формами обучения, но и являются главенствующими при дистанционной форме преподавания дисциплин, в экстернате, дополнительном профессиональном обучении, кардинально меняют основную форму – очное обучение.

В нашем понимании, электронный учебник как одна из форм технологии компьютерного обучения представляет собой набор мультимедиа-курсов (уроков) с анимацией, видео, звуковым сопровождением, записанных на CD-диске, и имеет хорошие технические возможности для реализации различных дидактических идей.

Электронный учебник, естественно, не сможет заменить общения с преподавателем. Дополнительно учащиеся должны иметь возможность изучать теоретическую часть курса – лекции, печатные материалы. В настоящем учебном пособии соединены традиционный печатный учебник и электронный.

Электронный учебное пособие, не исключая дублирования, должно содержать как можно больше иллюстрационных элементов, которые принципиально нельзя показать ни на доске, ни в печатном учебнике, ни на слайде (аудио-, видео-, анимационные материалы).

Пособие выполнено в среде Power Point программного пакета MS Office, позволяющей совмещать видеофайлы, звук, музыкальное сопровождение, текст, растровые файлы. Всё это представляет учебный материал в различных формах и использует средства мультимедиа в полном объёме. Для работы с комплексом требуются компьютер IBM PC с процессором не ниже Pentium 166, ОЗУ 64 Мб, звуковая карта, 100 Мб свободного места на системном диске и полный программный пакет MS Office.

Такие высокие требования к компьютеру обусловлены наличием большого количества графической информации на некоторых виртуальных страницах, которая даётся в совокупности со звуковым сопровождением. Многие анимации занимают несколько слайдов, которые «прокручиваются» автоматически.

Последовательность работы с учебником такова:

- запустить CD – щелчком левой кнопки мыши, открыть файл «Электронное пособие»;
- нажать «начать показ» или клавишу F5.

При запуске основного файла, содержащего главное меню, он автоматически переписывает с CD в каталог TEMP системного диска (обычно это диск C). Этот файл содержит в себе гиперссылки, которые позволяют открывать файл с нужным курсом. При щелчке мыши на выбранной гиперссылке требуемый файл также переписывается в каталог TEMP системного диска. При выходе из какого-либо курса главное меню – файл, содержащий этот курс, автоматически из каталога

TEMP стирается. Поэтому для нормальной работы программы требуется около 100 Мб свободного места. Мультимедийный комплекс на базе IBM PC состоит из главного файла меню, файлов, содержащих меню каждого курса, и файлов, содержащих курсы (уроки). Главный файл необходимо запускать для просмотра учебника, остальные файлы подгружаются автоматически по мере продвижения по учебнику.

При создании комплекса было выбрано несколько принципов представления учебного материала. основополагающий принцип – максимальная замена текстовой информации на графическую (статическую и динамическую) и звуковое сопровождение.

Для гипертекстовых переходов используются активные слова, которые выделены цветом с тенью, кнопки, на которых написано название открываемого объекта и активные блоки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный нами учебный материал свидетельствует, что высокопроизводительная и надёжная работа технологического оборудования во многом определяется его безопасной эксплуатацией.

В настоящее время трудно представить себе высококвалифицированного специалиста в области промышленной безопасности, не обладающего навыками безопасной эксплуатации технологического оборудования.

В учебном пособии рассмотрены основы безопасной эксплуатации технологического оборудования химических производств. Материал, изложенный в учебном пособии, является составной частью таких учебных курсов как «Машины и аппараты химических производств», «Технологическое оборудование химической промышленности», «Технологическое оборудование и его безопасная эксплуатация», «Производственная безопасность», «Диагностика и ремонт технологического оборудования» и предусмотрен для изучения Государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования по направлениям подготовки дипломированных специалистов 280102 «Безопасность технологических процессов и производств», 240801 «Машины и аппараты химических производств», 240802 «Основные процессы химических производств и химическая кибернетика» и подготовки бакалавров по направлениям 280700 «Техносферная безопасность», 150400 «Технологические машины и оборудование», 241000 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

Авторы настоящего учебного пособия надеются, что представленный в нём материал поможет молодым специалистам в области обеспечения безопасности технологических процессов и производств правильно видеть и понимать общие проблемы промышленной безопасности, а знакомство с изложенным материалом окажет студентам практическую помощь при курсовом и дипломном проектировании, а также повысит уровень их знаний и профессиональной подготовки.

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 Издательство «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 : учебное пособие для вузов / А.С. Тимонин, Б.Г. Балдин, В.Я. Борщев и др. ; под общ. ред. А.С. Тимониной. – Калуга : Издательство 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. отд-ние, 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. Безопасность труда в химической промышленности : учебное пособие / Л.К. Маринина, А.Я. Вамн, Н.И. Торопов и др. ; под ред. Л.К. Марининой. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 528 с.
8. Девисилов, В.А. Охрана труда : учебник / В.А. Девисилов. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2008. – 448 с.
9. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая и др. ; под общ. ред. С.В. Белова. – 8-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2009. – 616 с.
10. Кормильцин, Г.С. Основы диагностики и ремонта химического оборудования : учебное пособие / Г.С. Кормильцин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 120 с.
11. Промтов, М.А. Безопасная эксплуатация технологического оборудования : учебное пособие / М.А. Промтов, В.Я. Борщев, Г.С. Кормильцин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	4
1.1. Классификация технологического оборудования. Основные понятия о машинах и аппаратах химических и смежных производств	4
1.2. Декларирование промышленной безопасности производст- венных объектов	11
1.3. Требования к аппаратурному оформлению технологи- ческих процессов и размещению оборудования	16
1.4. Основы безопасной эксплуатации технологического обору- дования	19
1.5. Эксплуатационные параметры технологического обору- дования и трубопроводов	59
1.6. Оценка эксплуатационной надёжности технологического оборудования и методы повышения надёжности объектов ..	60
1.7. Защита оборудования от коррозии	63
2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ БЕЗОПАСНУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ И СМЕЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	66
2.1. Герметизация технологического оборудования	66
2.2. Защитные устройства	78
2.3. Обеспечение защиты от производственных вибраций	81
3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	86
3.1. Основные понятия	86
3.2. Требования к электрооборудованию для аппаратов химических производств	87
3.3. Заземление и защитные меры по обеспечению электробезопасности.....	88
3.4. Защита от статического электричества	94
4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	102
4.1. Технологические мероприятия по снижению опасности взрыва	102

4.2. Ограничение и подавление взрывов	104
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ	110
5.1 Общие сведения и классификация технологических трубопроводов	110
5.2. Компенсаторы	115
5.3. Опоры и подвески	118
5.4. Расчёт трубопроводов	120
5.5. Безопасная эксплуатация трубопроводов	122
6. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА	124
6.1. Защита аппаратов от превышения давления	128
6.2. Классификация предохранительной арматуры	129
6.3. Рекомендации по выбору предохранительных устройств	138
6.4. Требования к установке и эксплуатации предохранитель- ных клапанов и предохранительных мембран	140
6.5. Расчёт предохранительного клапана по пропускной способности	143
6.6. Расчёт предохранительных мембран на заданное давление срабатывания	144
7. ЗАЩИТНАЯ АРМАТУРА	148
8. ДИАГНОСТИКА – ОСНОВА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ	150
8.1. Визуально-оптический контроль	150
8.2. Радиационные методы неразрушающего контроля	154
8.3. Акустические методы неразрушающего контроля	161
8.4. Магнитные методы неразрушающего контроля	168
8.5. Капиллярные методы неразрушающего контроля	171
8.6. Выбор метода диагностики оборудования	172
8.7. Основы определения остаточного ресурса работы оборудования	173
8.8. Электронное учебное пособие к разделу	179
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	184
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	185

Учебное издание

БОРЩЕВ Вячеслав Яковлевич,
КОРМИЛЬЦИН Геннадий Сергеевич,
ПРОМТОВ Максим Александрович,
ТИМОНИН Александр Семёнович

ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие

Редактор Л.В. Комбарова
Инженер по компьютерному макетированию М.С. Анурьева

Подписано в печать 03.11.2011.
Формат 60 × 84 /16. 10,93 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 479.

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14