

**Министерство образования Российской Федерации
Казанский государственный технологический университет**

Ф. М. Гимранов, Е. Б. Гаврилов

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Часть 2

Безопасность технологического оборудования

Учебное пособие

2002

УДК 614.8.084

Безопасность жизнедеятельности. Ч. 2. Безопасность технологического оборудования: Учебное пособие / Гимранов Ф. М., Гаврилов Е.Б. Казан.гос.технол.ун-т. Казань, 2002. 84 с. ISBN 5-7882-0211-6

Подготовлено в соответствии с программой дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) для технических вузов. Издается в четырех частях, включающих все разделы учебной программы.

Во второй части рассмотрены инженерные аспекты создания безопасного технологического оборудования. Приведены современные методы и способы обеспечения герметичности оборудования, требования к устройству и безопасной эксплуатации сосудов и аппаратов, работающих под давлением, технологических трубопроводов, даны рекомендации по выбору арматуры аппаратов и трубопроводов, изложена методика расчета и рекомендации по выбору предохранительных и защитных устройств. Рассмотрены вопросы обеспечения защиты от производственных вибраций и вопросы по электробезопасности.

Предназначено для студентов КГТУ специальностей технологического и механического профиля всех форм обучения.

Подготовлено на кафедре промышленной безопасности КГТУ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского государственного технологического университета.

Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Ф.М. Гимранова

Рецензенты: проф. Л. Н. Швалев (КГАСА)
проф. Э. Ш. Теляков (КГТУ)

ISBN 5-7882-0211-6

Казанский государственный
технологический университет, 2002 г.

Предисловие

Основным источником опасности для человека становится техносфера. Усложнение технологии, несовершенные системы управления, расположение опасных производственных объектов в местах проживания людей, широкое применение взрывопожароопасных и/или токсичных веществ способствуют тому, что возникающие аварии могут иметь катастрофический характер, приводя к серьезным отрицательным воздействиям на природную среду, к нарушению условий жизнедеятельности и гибели людей. Ежегодный экономический ущерб от техногенных аварий в Российской Федерации составляет в среднем 2 млрд. долл. США (без учета экологического ущерба).

Характерной особенностью современного производства является применение на одном предприятии, в цехе самых разнообразных технологических процессов, сложных по своей физико-химической основе. Для реализации технологических процессов используются разнообразные виды машин, аппаратов, вспомогательного и другого оборудования. В технологических системах могут обращаться значительные количества высокотоксичных, легковоспламеняющихся, коррозионно-активных и других потенциально опасных веществ, находящихся при повышенном давлении и высокой температуре. Ведение технологических процессов зачастую сопровождается значительными уровнями излучаемого шума, вибрации, ультра- и инфразвука, жесткими параметрами микроклимата, большинство производственных операций производится в условиях высокого зрительного и интеллектуального напряжения, запыленности и загазованности. Все это в конечном итоге приводит к изменению состояния работающих и к возможности совершения ими ошибочных действий при выполнении производственных обязанностей. Одновременно не всегда применяемое оборудование гарантировано от внезапных поломок, механических повреждений, а также отказов в системе управления технологическим процессом. В связи с этим, наряду с общими требованиями по соблюдению функционирования технологического процесса в пределах установленных параметров с целью

получения продукции заданного качества и количества, возникает проблема надежности работы всей технологической системы. Требуемая надежность технологической системы в первую очередь предопределяется надежностью и эффективностью оборудования и инженерных коммуникаций. Применяемое в промышленности, особенно в химической и смежных отраслях производства, оборудование весьма разнообразно как по назначению, так и по принципу действия. Для каждого вида оборудования характерны свои особенности эксплуатации и способы предотвращения аварийных ситуаций. Однако имеются некоторые общие для всех типов оборудования направления по уменьшению уровня риска и созданию безопасных и безвредных условий труда для работающих. Это прежде всего обеспечение герметичности производственного оборудования, оснащение технологического оборудования системами противоаварийной защиты, рациональный выбор средств защиты от производственных вибраций, от опасности поражения человека электрическим током и другое.

В предлагаемом учебном пособии изложены перечисленные выше и некоторые другие методы и способы обеспечения безопасности, применяемые при конструировании и эксплуатации технологического оборудования.

1. Эксплуатационные параметры оборудования и трубопроводов

Эксплуатационные 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, скорость коррозии металла приобретает важное значение.

Температура среды в оборудовании задается в соответствии с тепловым режимом процесса. Допустимые отклонения от номинальной температуры устанавливаются технологическим регламентом. Регулирование температуры процесса возможно изменением скорости и температуры тепло- или хладагента, количества и температуры компонентов исходного сырья и т.д. Если в результате принятых мер не удастся 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 емкости.

Весьма важным условием является компенсация температурных деформаций (особенно для аппаратов большой длины и трубопроводов большой протяженности). Конструкционные меры для обеспечения компенсаций устанавливаются 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°C, при котором допустима длительная работа оборудования и деталей трубопровода. Под пробным давлением понимается давление, 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 объема 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.

2. Оценка эксплуатационной надежности оборудования и методы повышения надежности объектов

Даже самые совершенные начальные характеристики оборудования – необходимые, но еще недостаточные условия его высокого качества. Они

показывают, по существу, лишь его технические возможности. Любое оборудование должно быть надежным и безопасным в процессе эксплуатации.

Под надежностью 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 надежности являются вероятность безотказной работы оборудования, срок службы, наработка на отказ и т.д.

Снижение надежности оборудования может привести к постепенному нарушению технологического процесса – постепенному отказу – ухудшению качественных и количественных показателей системы. Безотказность, или свойство оборудования непрерывно сохранять работоспособность, оценивается по результатам анализа фактических параметров работы оборудования (производительности, температуры, давления, потребляемой мощности, расхода сырья и выхода целевого продукта с учетом его качественных показателей) между двумя последовательными ремонтами.

Нарушение технологического процесса или параметров работы оборудования как случайное событие в теории надежности 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 легкого и быстрого устранения.

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

Надежность 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 учетом 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 надежным в определенных 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 надежность оборудования поддерживается строгим соблюдением заданных параметров рабочего режима, качественным обслуживанием и своевременным проведением профилактических работ по поддержанию работоспособности оборудования.

Одним из методов повышения надежности является *резервирование*, т.е. введение в систему добавочных (дублирующих) элементов, включаемых параллельно основным, что способствует созданию систем, надежность которых выше надежности любых входящих в них элементов. При выходе из строя одного из элементов дублер 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 надежности технологического оборудования.

Для повышения надежности 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. Для технического диагностирования объектов используются различные методы неразрушающего контроля: ультразвуковой, радиоскопический, магнитный, рентгеновский, позволяющие определить толщину стенок аппаратов и трубопроводов, выявить наличие межкристаллитной и другой коррозии в материале, контролировать толщину защитных покрытий. Измерением акустического шума и вибрации машин (вибродиагностика) можно установить величину износа деталей, ослабление болтов и других крепящих деталей, наличие локальных кавитационных эффектов при перемещении жидкостей и т.д.

Техническое обслуживание – это совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на предупреждение отказов, обеспечение исправного состояния в процессе эксплуатации и готовности объектов к использованию. К основным задачам технического обслуживания относятся: 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 надежности объектов за счет организации периодических проверок состояния объектов, замены и ремонта некоторых элементов, регулировки параметров и устранения выявленных неисправностей. В объем 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 крепежных деталей и соединений, проверка состояния заземления и др. Мелкий ремонт оборудования – устранение мелких дефектов, подтяжка крепежных 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 оборудования 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.

3. Обеспечение герметичности технологического оборудования

Под герметичностью понимают непроницаемость оболочки (корпуса) оборудования, отдельных ее 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 нем давлению, отнесенным к единице времени:

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

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.

3.1. Герметизация соединения элементов частей аппаратов и трубопроводов

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

Принцип действия разъемного 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.1.

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 взрывопожароопасными веществами и вакууме применяют торцевые 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.

Таблица 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, щелочи, газы, спирт, серная кислота	5	450
Резина	Вода, пищевые жидкости, неагрессивные масла	2,5	- 30 - +90
Фторопласт	Вода, воздух, щелочи, кислоты	1	- 195 - +260
Асбест	Растворители, нефтепродукты, кислоты, агрессивные газы	3	450

Сальниковые уплотнения применяются на аппаратах, содержащих нейтральные, невзрывоопасные и нетоксичные среды с относительно невысокой температурой. Их используют также для уплотнения арматуры (вентилей, задвижек). Схема простейшего сальникового уплотнения показана на рис. 1.

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 /1/. Толщина слоя набивки S должна быть не менее 3-4 мм. Среднее значение определяется зависимостью

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

а его высота

$$h \approx d + 2S \quad . \quad (3)$$

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

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

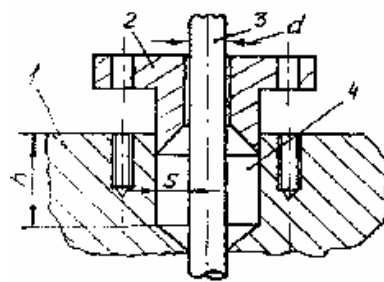
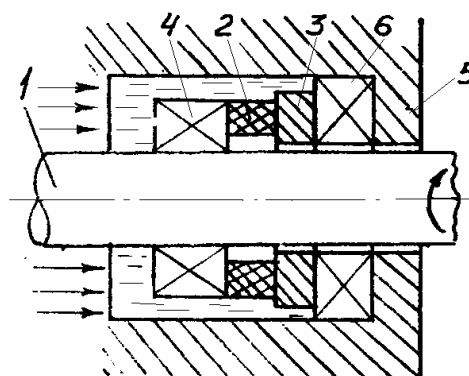


Рис.1 Схема сальникового уплотнения

1 – корпус; 2 – нажимная крышка буксы; 3 – вал; 4 – пространство между валом и крышкой для набивки

Торцовые уплотнения наибольшее применение нашли для уплотнения валов аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и токсичные среды. Торцовые уплотнения весьма разнообразны по конструкциям, хотя все построены по одной схеме (рис. 2) /1/.

Вал 1 связан упругим элементом 4 с кольцом 2. Торцовая поверхность кольца 2 под воздействием упругого элемента 4 прижимается к неподвижному кольцу 3, соединенному с корпусом аппарата 6 через другой упругий элемент 5. Упругие элементы 4 и 5 должны обеспечивать постоянное и плотное прилегание колец 2 и 3 даже при вибрациях и смещениях вала и износе



соприкасающихся поверхностей пары трения.

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 твердого (стали, керамика). Торцовые уплотнения могут быть одинарными или двойными, являющимся комбинацией двух одинарных. Обычно в торцовые уплотнения подается 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.

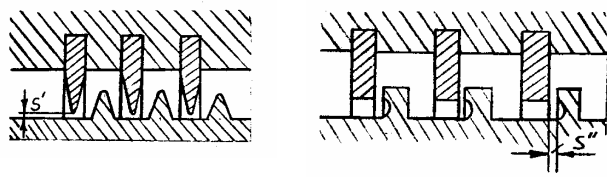
Преимуществами торцовых уплотнений являются высокая степень герметичности, небольшие потери мощности на трение (10-50% от мощности, потребляемой сальниковыми уплотнениями), способность работать в большом диапазоне давлений (от глубокого вакуума до 45 МПа) при температуре до 450°С и другие.

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

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. 3).

Рис. 2. Схема торцевого уплотнения

- 1 – вал; 2 – вращающееся кольцо;
- 3 – неподвижное кольцо;
- 4 – вращающийся упругий элемент;
- 5 – неподвижный упругий элемент;
- 6 – корпус



а

б

Рис. 3. Схема лабиринтного

уплотнения:

а – с радиальной щелью; б – с осевой щелью

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,

причем конечная утечка среды может быть практически приемлемой для заданных условий эксплуатации или может быть вовсе прекращена запирающим противодавлением.

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 устранен 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. 4).

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.

3.2. 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 [2, 3].

Пневматические испытания на герметичность заключаются в создании в аппарате или трубопроводе максимально разрешенного рабочего давления и контроля его падения в течение не менее 4 часов при периодической проверке и 24 часов для вновь устанавливаемых аппаратов. Потери давления

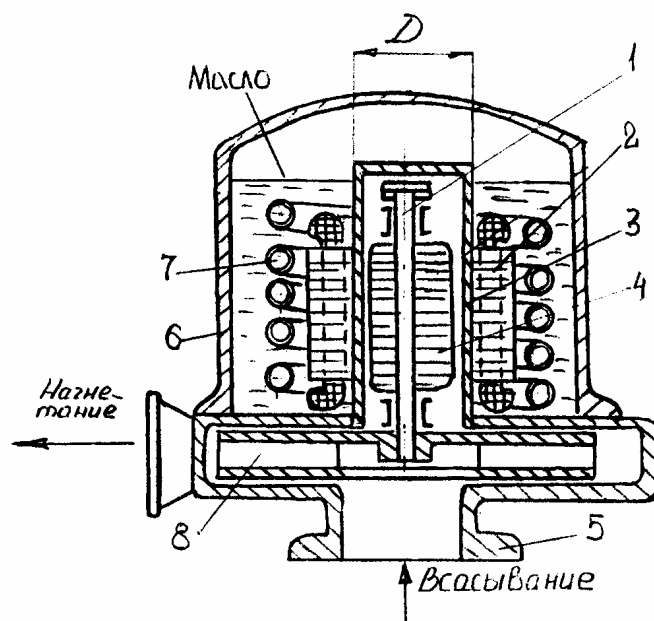


Рис. 4. Схема бессальникового герметичного центробежного насоса:
 1 – вал электродвигателя; 2 – статор;
 3 – экран из немагнитного материала;
 4 – ротор электродвигателя; 5 – корпус насоса; 6 – колпак; 7 – змеевик для охлаждающей воды; 8 – рабочее колесо насоса

рассчитывают по формуле (1). Вновь устанавливаемое оборудование считается выдержавшим испытание на герметичность, если падение давления в нем 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):

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 проведенных выше значений на поправочный коэффициент K , подсчитываемый по формуле

$$K = 250 / D_{вн}, \quad (4)$$

где $D_{вн}$ - 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 разъемные соединения мыльным раствором.

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

4. 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, щелочей, 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 (емкости, 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 550⁰С и работающие в слабонагруженном состоянии (15Х25Т, 20Х23Н13 и др.);
- жаропрочные стали, работающие при высоких температурах в нагруженном состоянии и обладающие при этом достаточной окалиностойкостью (20Х13, 20Х13Н18 и др.).

Рекомендации по оптимальному применению различных материалов в условиях конкретных производств приводятся в справочной литературе /4,5/.

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

- 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) /6,7/.

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. 5).

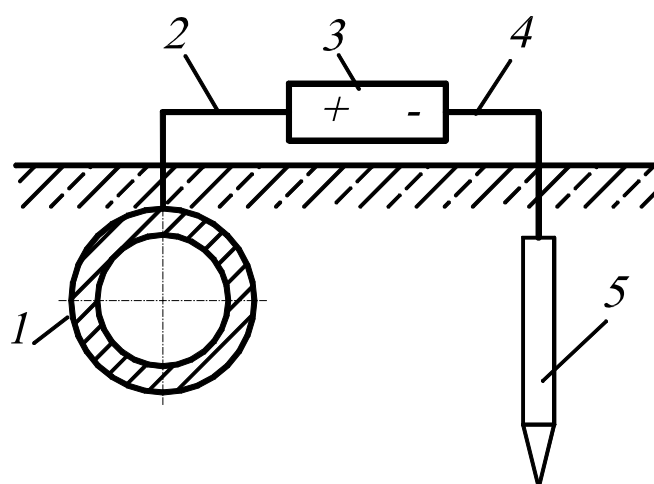


Рис. 5. Принципиальная схема катодной защиты:

1 – защищаемый трубопровод; 2,4 – дренажные кабели; 3 – источник электрического тока; 5 – анодное заземление

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. Создается 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).

В некоторых случаях (защита от коррозии емкостей, 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).

5. Безопасность эксплуатации сосудов и аппаратов, работающих под давлением

На предприятиях многих отраслей промышленности широко применяются аппараты, сосуды и баллоны, работающие под давлением¹. Основная опасность

¹ Далее по тексту вместо "аппараты, сосуды, баллоны" принят термин "сосуды".

при эксплуатации таких сосудов - возможность их разрушения под действием давления рабочей среды (физический взрыв). При физическом взрыве энергия сжатой среды в течение малого промежутка времени реализуется в кинетическую энергию осколков разрушенного сосуда и воздушную ударную волну. При этом осколки могут разлетаться на несколько сотен метров и при соударении с технологическим оборудованием, емкостями вызвать их разрушение, приводя к возможности возникновения взрывов и пожаров и гибели людей. Мощность физических взрывов сосудов весьма велика. Например, мощность взрыва сосуда вместимостью 1 м^3 , находящегося под давлением воздуха, равным 1 МПа , составляет 13 МВт .

Наиболее частыми причинами аварий и взрывов сосудов, работающих под давлением, являются несоответствие конструкции максимально допустимому давлению и температурному режиму, превышение давления сверх предельного, потеря механической прочности аппарата (коррозия, внутренние дефекты металла, местные перегревы), несоблюдение установленного режима работы, отсутствие необходимого технического надзора, ошибочные действия обслуживающего персонала.

Требования безопасности, предъявляемые к устройству, изготовлению и эксплуатации сосудов, работающих под давлением, определены "Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением" /2/. К сосудам, на которые распространяются эти правила, относятся: сосуды, работающие под избыточным давлением свыше $0,07\text{ МПа}$ ($0,7\text{ кгс/см}^2$); баллоны, предназначенные для перевозки и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше $0,07\text{ МПа}$, сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115°C или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении $0,07\text{ МПа}$.

Правила не распространяются на приборы парового и водяного отопления; сосуды вместимостью не выше $0,025\text{ м}^3$, для которых произведение емкости (в м^3) на рабочее давление (в Мпа) не превышает $0,02$; части машин, не представляющие собой самостоятельные сосуды (промежуточные холодильники и масловлагодетелители компрессоров, воздушные колпаки насосов и т.д.), и некоторые другие виды сосудов.

Правила устанавливают специальные требования безопасности к конструкции и материалам сосудов, к изготовлению, монтажу и ремонту, к арматуре, контрольно-измерительным приборам и предохранительным устройствам, к установке, регистрации и техническому освидетельствованию сосудов, к содержанию и обслуживанию их.

Конструкция сосудов должна быть надежной, обеспечивать безопасность при эксплуатации и предусматривать возможность осмотра, очистки, промывки, продувки и ремонта сосудов. Так, сосуды с внутренним диаметром

более 800 мм должны иметь люки, а с диаметром менее 800 мм - лючки в местах, доступных для обслуживания.

Сварные швы сосудов выполняются только стыковыми. Сварные швы должны быть доступны для контроля. Контроль качества сварных соединений должен производиться: а) внешним осмотром; б) неразрушающими методами дефектоскопии; в) механическими испытаниями; г) гидравлическим (пневматическим) испытанием и другими методами. Качество сварных соединений считается удовлетворительными, если при любом виде контроля не будут обнаружены внутренние или наружные дефекты, превышающие пределы норм, установленных Правилами /2/.

Материалы, предназначенные для изготовления или ремонта сосудов, должны иметь сертификаты, подтверждающие, что качество материала соответствует требованиям Госгортехнадзора, а также специальным техническим условиям.

Правилами устанавливаются требования к методам изготовления, допускам, сварке, термической обработке и контролю сварных соединений, гидравлическому испытанию и др.

Для управления работой, обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуды, работающие под давлением, снабжаются приборами для измерения давления и температуры среды, предохранительными устройствами (клапанами и мембранами), запорной арматурой, указателями уровня жидкости.

Сосуды, на которые распространяются правила Госгортехнадзора (Правила ГГТН) /2/, до начала эксплуатации должны быть зарегистрированы в его органах, в которые предприятие предъявляет письменное заявление, паспорт сосуда, акт о монтаже его в исправном состоянии, схему включения сосуда с указанием источника давления, параметров его рабочей среды, арматуры, паспорт предохранительного клапана с расчетом его пропускной способности.

Регистрации в органах ГГТН не подлежат:

а) сосуды, работающие под давлением неедких, неядовитых и невзрывоопасных сред (группа сосудов 2-я, 3-я и 4-я) при температуре стенки не выше 200 °С, у которых произведение емкости на давление не превышает 0,1 м³ МПа;

б) сосуды, работающие под давлением едких, ядовитых и взрывоопасных сред (группа сосудов 1-я) при температуре не выше 200 °С, у которых произведение объема на давление не превышает 0,05 м³ МПа;

в) сосуды холодильных установок;

г) баллоны, бочки емкостью до 0,1 м³ (100л) и в некоторых других случаях, оговоренных в Правилах ГГТН.

Разрешение на пуск сосуда выдается инспектором ГГТН после регистрации и технического освидетельствования (внутреннего и наружного осмотра и

гидравлического испытания). Техническое освидетельствование проводят до пуска в работу и периодически в процессе эксплуатации в следующие сроки:

- внутренний и наружный осмотр с целью выявления состояния внутренних и наружных поверхностей и влияния среды на стенки сосудов - не реже одного раза в четыре года;

- гидравлическое испытание с предварительным внутренним осмотром - не реже одного раза в восемь лет.

Перед внутренним осмотром и гидравлическим испытанием сосуд должен быть остановлен, освобожден от заполняющей его рабочей среды и отключен заглушками от трубопроводов, соединяющих его с источником давления или с другими аппаратами. Перед гидравлическим испытанием дополнительно необходимо тщательно очистить всю арматуру, проверить состояние предохранительных устройств и проверить плотность закрепления крышек и люков, промыть водой, продуть (просушить) воздухом.

Гидравлическое испытание проводится пробным давлением воды температурой от 5 до 40°С. Величина пробного давления определяется по формуле

$$P_{пр} = KP \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t}, \quad \text{МПа}, \quad (4)$$

где K - коэффициент для сварных сосудов - 1,25, для литых - 1,5; P - расчетное давление, МПа; σ_{20}, σ_t - допускаемые напряжения для материала сосуда или его элементов соответственно при 20°С и расчетной температуре, МПа.

Время выдержки под пробным давлением вновь изготовленных сосудов не менее 10 мин при толщине стенки сосуда до 50 мм; 20 мин - при толщине стенки свыше 50 до 100 мм и 30 мин - при толщине более 100 мм.

Литые сосуды выдерживаются в течение 60 мин. После снижения пробного давления до рабочего проводится осмотр всех сварных соединений. Если при этом отсутствуют признаки разрыва, течи, потения, видимых остаточных деформаций, то сосуд считается выдержавшим испытание.

Длительность периодических испытаний на прочность устанавливается изготовителем сосуда или составляет 5 мин.

В особо оговоренных случаях гидравлическое испытание заменяется пневматическим под давлением, равным величине пробного гидравлического давления. Этот вид испытания допускается только при условии его контроля методом акустической эмиссии.

Значение пробного давления и результаты испытаний заносятся в паспорт сосуда. На сосуды, выдержавшие техническое освидетельствование, наносят

краской следующие данные: регистрационный номер, разрешенное давление, дата (месяц и год) следующего осмотра и гидравлического испытания.

В соответствии с требованиями Правил ГТН сосуд, работающий под давлением, должен быть остановлен при появлении признаков аварийной ситуации:

- повышение давления выше разрешенного, несмотря на меры, принятые персоналом;
- при выявлении неисправности предохранительных клапанов;
- при обнаружении в сосуде и его элементах неплотностей, выпучин, разрыва прокладок;
- при неисправности манометра;
- при возникновении пожара, непосредственно угрожающего сосуду, находящемуся под давлением, и в некоторых других случаях.

6. Специфические требования безопасности к устройству и эксплуатации баллонов

Баллоны для хранения и транспортирования сжатых (кислород, водород, воздух и др.), сжиженных (хлор, аммиак, бутан, пропан, диоксид углерода и др.) и растворенных (ацетилен) газов являются разновидностью сосудов, работающих под давлением. Но к ним предъявляются дополнительные требования, которые и рассматриваются ниже.

Баллоны изготавливают главным образом из бесшовных цельнотянутых стальных труб. Расчет баллонов на прочность производится при условии, чтобы напряжения в их стенках при гидравлическом испытании не превышали 90% предела текучести для данной марки стали. При этом коэффициент запаса прочности по минимальному значению временного сопротивления при температуре 20°C должен быть не менее 2,6.

Каждый баллон имеет вентиль для наполнения и отбора газа. Боковые штуцера вентиля для баллонов, наполняемых горючими газами, должны иметь левую резьбу, а для баллонов, наполняемых кислородом и другими негорючими газами, - правую резьбу.

Наружные поверхности должны быть окрашены в определенный цвет, соответствующий цвету, присвоенному газу, для которого предназначен баллон: азот, воздух - черный; аммиак - желтый; кислород - голубой; ацетилен - белый; гелий - коричневый и т.д.

Баллоны, находящиеся в эксплуатации, подвергаются периодическому освидетельствованию не реже чем через 5 лет. Освидетельствование баллонов, за исключением баллонов для ацетилена, включает:

- осмотр внутренней и наружной поверхностей баллонов;
- проверку веса и емкости;

- гидравлическое испытание.

Баллоны, в которых при осмотре выявлены трещины, вмятины, раковины и риски глубиной более 10% от номинальной толщины стенки или произошла потеря в весе более 16% или увеличение емкости (вместимости) более 3%, бракуются. При меньших значениях потери веса или увеличении емкости баллоны переводятся на более "мягкие" режимы эксплуатации. Величины максимально разрешенных рабочих давлений устанавливаются Правилами ГТТН /2/.

Гидравлическое испытание литых баллонов осуществляется пробным давлением, равным 1,5 рабочего давления. После гидравлического испытания баллоны (кроме ацетиленовых) подвергаются пневматическому испытанию давлением, равным рабочему давлению, причем баллоны погружают в ванну с водой на глубину не менее 1 м. Баллоны для ацетилена, наполненные пористой массой, испытывают азотом под давлением 3,5 МПа.

На верхнюю сферическую часть баллонов емкостью до 100 л включительно наносятся клеймением следующие данные (баллоны емкостью более 100 л имеют паспорт, клеймо на баллонах в этом случае не ставится): товарный знак завода-изготовителя; номер баллона; дата (месяц и год) изготовления и год следующего освидетельствования; фактическая масса (В) порожнего баллона, кг; вместимость (Е) баллона, л; рабочее давление (Р), МПа; пробное давление (П), МПа; клеймо ОТК завода-изготовителя.

При эксплуатации баллонов находящийся в них газ запрещается сбрасывать полностью. Остаточное давление газа в баллоне должно быть не менее 0,05 МПа.

Выпуск газов из баллонов в емкости (в систему) с меньшим рабочим давлением должен производиться через редуктор, предназначенный для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора имеет манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее разрешенное давление в емкости, в которую пропускается газ.

Баллоны со сжиженными газами должны заполняться не более 90% вместимости.

Баллоны с газами должны храниться в специально спроектированных для этого открытых или закрытых складах. При этом запрещается совместное хранение баллонов с кислородом и горючими газами. Баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях, должны находиться на расстоянии не менее 1 м от радиаторов отопления и не менее 5 м от источников тепла с открытым огнем.

Баллоны транспортируют со склада к потребителям на специально приспособленных для этого тележках, носилках. Баллоны, наполненные газом, перевозят транспортными средствами в горизонтальном положении с

прокладками между баллонами. Во время перевозки баллоны укладывают вентилями в одну сторону. Кроме того, на баллоны надевают предохранительные колпаки, а на боковые вентиляльные штуцера с ядовитыми газами устанавливают заглушки.

7. Требования безопасности к устройству и эксплуатации технологических трубопроводов

Сеть трубопроводов является источником повышенной опасности, так как вследствие тяжелых условий эксплуатации (повышенные и высокие значения температуры, давления, во многих случаях высокая коррозионная активность сред, транспортируемых по трубопроводам) происходит разрушение материала труб и разгерметизация фланцевых соединений, а из-за большой протяженности и разветвленности сети контроль за ее состоянием затруднен.

В связи с этим проектирование, устройство, монтаж и эксплуатация технологических трубопроводов регламентируется соответствующими нормативными документами /3, 8, 9/.

Согласно нормам все технологические трубопроводы в зависимости от химического состава передаваемой по ним среды подразделяются на три группы (А, Б, В). Внутри каждой группы в зависимости от рабочего давления и температуры трубопроводы делятся на пять категорий (I-V) табл. 2.

В соответствии с категорией трубопровода и группой перемещаемой среды выбираются трубы, имеющие требуемое значение условного давления и диаметр условного прохода (ГОСТ 356-80). Материалы труб выбираются с учетом механической прочности, стойкости к воздействию высоких и низких температур и коррозионной стойкости. В табл. 3 представлена коррозионная стойкость некоторых материалов, идущих на изготовление труб, в различных агрессивных средах при температуре 20⁰С; буквой С обозначены стойкие материалы, У - материалы, применяемые лишь в определенных условиях (условно стойкие), Н - не применяются для транспортирования данной среды.

В химической промышленности используют, как правило, бесшовные трубы. Прямошовные или спиральношовные сварные трубы применяют лишь для транспортирования воды, пара и других нейтральных и невзрывоопасных сред при температуре от -15 до 200⁰С и давлении до 1 МПа.

Прокладку трубопроводов в основном выполняют надземным способом - на эстакадах, стойках, по колоннам и по стенам зданий, что позволяет обеспечивать возможность постоянного наблюдения за состоянием трубопроводов, облегчается их монтаж и ремонт. При надземной прокладке трубопроводов в зависимости от их характеристик и условий эксплуатации применяют следующие опоры: неподвижные, обеспечивающие закрепление

трубопровода в заданной (мертвой) точке; подвижные (скользящие, катковые), дающие возможность трубопроводу свободно перемещаться при тепловых деформациях.

Расстояния между опорами и место установки неподвижных (мертвых) опор рассчитываются и указываются в проектной документации. При расчете

Таблица 2

Классификация технологических трубопроводов

Общая группа	Транспортируемые вещества	Категория трубопровода*									
		I		II		III		IV		V	
		$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С	$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С	$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С	$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С	$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С
<i>Вещества с токсическим действием</i>											
А	а) Чрезвычайно и высокоопасные вещества кл. 1 и 2 (ГОСТ 12.1.007)	Независимо	Независимо	-	-	-	-	-	-	-	-
	б) Умеренные опасные вещества кл. 3 (ГОСТ 12.1.007)	> 2,5	>+ 300 < -40	Вакуум от 0,08 до 2,5	От -40 до +300	-	-	-	-	-	-
<i>Взрыво- и пожароопасные вещества</i>											
Б	а) Горючие газы, в том числе сжиженные	> 2,5	> 300 и < -40	Вакуум от 0,08 до 2,5	От -40 до +300	-	-	-	-	-	-
		Вакуум ниже 0,08	Независимо	-	-	-	-	-	-	-	-
	б) Легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ)	> 2,5	> +300 и < -40	От 1,6 до 2,5	120 - 300	до 1,6	От -40 до +120	-	-	-	-

Общая группа	Транспортируемые вещества	Категория трубопровода*									
		I		II		III		IV		V	
		$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С	$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С	$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С	$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С	$P_{\text{раб}}$, МПа	$t_{\text{раб}}$, °С
Б	б) Легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ)	Вакуум ниже 0,08	Независимо	Вакуум > 0,08	От -40 до +300	-	-	-	-	-	-
	в) Горючие жидкости	> 6,3	> +350 и < -40	От 2,5 до 6,3	250 - 350	От 1,6 до 2,5	120 - 250	< 1,6	От -40 до +120	-	-
В	Трудногорючие и негорючие жидкости (ГОСТ 12.1.044)	Вакуум ниже 0,003	-	Свыше 6,3 или вакуум < 0,08	350 - 450	От 2,5 до 6,3	250 - 350	От 1,6 до 2,5	120 - 250	< 1,6	От -40 до +120

* - Категорию трубопровода следует устанавливать по параметру, требующему отнесения его к более ответственной категории.

- Для вакуумных трубопроводов следует учитывать не условное давление, а абсолютное рабочее давление

Таблица 3

Коррозионная стойкость конструкционных материалов

Агрессивная среда	Концентрация, в %	Алюминий	Медь	Чугун	Сталь углеродистая	Сталь хромированная	Фаялит	Виннипласт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Азотная кислота	До 40	н	н	н	н	с	н	с
"-	40-70	н	н	н	н	с	н	у
"-	70-80	у	н	н	н	с	н	у
"-	80-95	с	н	н	н	с	н	н
"-	Свыше 95	с	н	н	н	у	н	н
Серная кислота	До 50	н	н	н	н	н	с	с
"-	50-70	н	н	н	н	н	у	с
"-	70-90	н	н	у	у	у	н	у
"-	90-100	н	н	у	у	у	н	н
Соляная кислота	До 10	н	у	н	н	у	с	с
"-	10-20	н	у	н	н	н	с	с
"-	Свыше 20	н	н	у	н	н	с	с
Атмосфера промышлен.	-	с	у	у	у	с	с	с
Вода техническая	-	с	у	у	у	с	с	с
Этиловый спирт	96	н	у	с	с	с	н	у
Бутиловый спирт	-	с	с	у	у	с	-	с
Бензол	-	с	с	с	с	с	с	н
Толуол	Раствор	с	с	с	с	с	-	н
Фенол	-	с	у	н	у	с	н	у
Натрий хлористый	Раствор	н	н	н	н	с	с	с
Цинк хлористый	Раствор	у	н	н	н	с	с	с
Натрий углекислый	"-	н	с	с	с	с	с	с
Едкий натр	До 30	н	у	с	с	с	н	с
"-	30-100	н	у	у	у	с	н	у

Окончание табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Аммиак	Газ	с	н	у	у	с	с	с
Аммиачная вода	Раствор	с	н	у	у	с	с	с
Сероводород	Газ	с	н	с	у	у	с	с
Калий хлористый	Раствор	с	н	н	н	у	с	с

опор для трубопроводов учитывают массу труб с изоляцией, массу продуктового потока и специальные условия эксплуатации (ветровую нагрузку, обледенение и др.). Минимальная высота прокладки надземных трубопроводов в непроезжей части территории составляет не менее 2,2 м, а в местах пересечения дорог - не менее 4,5 м.

Не разрешается прокладка технологических трубопроводов через бытовые, подсобные, складские помещения, вентиляционные камеры, помещения КИП и др.

Внутрицеховые трубопроводы взрыво- и пожароопасных производств должны быть заземлены с целью отвода зарядов статистического электричества и вторичных проявлений молний. В целях выравнивания электростатических потенциалов и предотвращения искрения трубопроводы, проложенные в помещениях категорий А и Б, параллельно на расстоянии до 100 мм один от другого, должны соединяться металлическими перемычками через каждые 20-25 м.

Все трубопроводы подвержены температурным колебаниям в зависимости от температуры транспортируемой среды и времени года. Величина теплового удлинения расчетного участка (между мертвыми опорами) трубопровода определяется по формуле

$$\Delta l = \alpha \Delta t L, \quad (6)$$

где α - коэффициент линейного расширения материала трубы; L - длина участка трубопровода; Δt - перепад температуры между транспортируемой жидкостью и окружающей средой.

Если трубопровод жестко закреплен в опорах и, следовательно, лишен возможности перемещаться, в нем возникают напряжения, определяемые по выражению

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{L}, \quad (7)$$

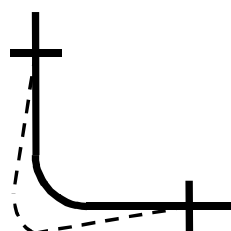
где E - модуль упругости материала трубы.

Эти напряжения, воздействующие, с одной стороны, на опоры, с другой, – на трубопровод, подвергающийся продольному изгибу, могут явиться причиной аварий. В случае, если значение σ равно или превышает допускаемые напряжения на растяжение (сжатие), необходимо оборудовать трубопроводы специальными компенсирующими устройствами.

Компенсация тепловых удлинений производится либо устройством трубопроводов с самокомпенсацией, либо установкой компенсаторов различных типов.

Рис.6. Схема самокомпенсации

Самокомпенсация. Трубопровод, согнутый под углом и закрепленный на концах (на мертвых опорах), удлиняясь при нагреве, изгибается (рис. 6). При этом в материале трубы возникают напряжения, намного меньше, чем те, которые возникли бы при нагреве прямой трубы той же длины. Это свойство используется при устройстве трубопроводов, требующих компенсации линейных удлинений, при наличии у них поворотов. Длина плеч трубопроводов от точки изгиба до мертвой опоры определяется расчетом.



Преимущества самокомпенсации заключаются в отсутствии специальных затрат на изготовление и в упрощении обслуживания. Самокомпенсация неприемлема для труб из хрупких материалов.

Компенсаторы. Наиболее распространенными являются компенсаторы, согнутые из труб (рис. 7).

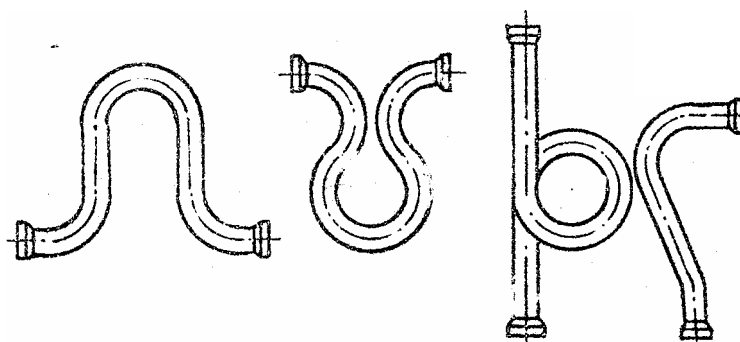


Рис. 7. Некоторые типы гнутых компенсаторов

Габариты гнутых компенсаторов определяют расчетом. Компенсирующая способность их доходит до 400 мм. Гнутые компенсаторы

изготавливаются из труб диаметром до 250 мм, выполненных из упругих материалов (сталь, винипласт).

Преимущества гнутых компенсаторов: легкость изготовления на месте монтажа, малые величины осевых усилий, нагружающих мертвые опоры. Недостатки - значительные габариты, повышенное сопротивление течению среды, возникновение со временем явлений усталости материала.

В трубах больших диаметров применяют линзовые компенсаторы (рис. 8). Число волн обычно не превышает восьми. Компенсационная способность одной волны 2 - 4 мм. Однако при давлениях выше 1,6 МПа линзовые компенсаторы не применяются, т.к. толщина стенок волн становится настолько большой, что компенсационная способность устройства резко снижается.

Установку на трубопроводах гнутых или линзовых компенсаторов следует предусматривать при невозможности компенсации удлинений за счет самокомпенсации.

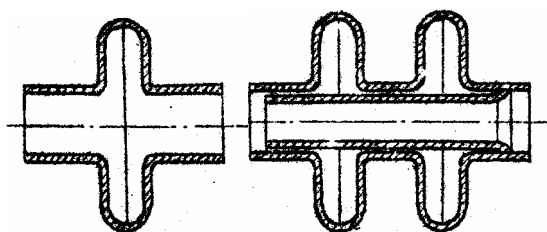


Рис. 8. Линзовые компенсаторы

Для труб, изготовленных из хрупких материалов (чугуна, керамики, стекла, фаолита), применяют сальниковые компенсаторы (рис. 9). Устройство

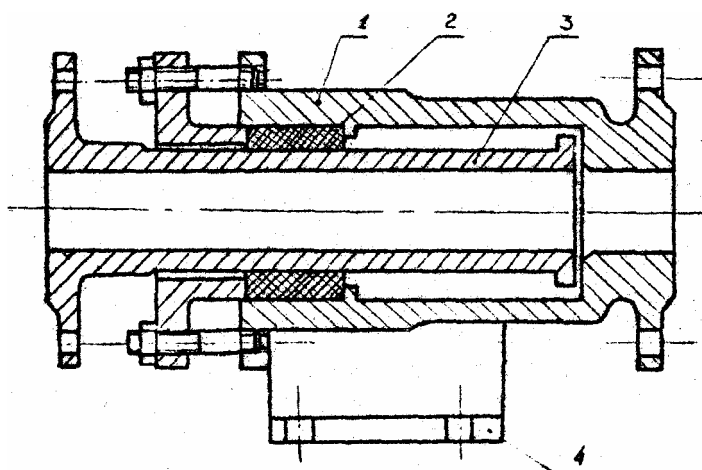


Рис. 9. Сальниковый компенсатор
1 – корпус; 2 – сальник; 3 – стакан; 4 – крепежная лапа

состоит из двух труб, одна из которых меньшего диаметра (так называемый стакан, или ныряло) под воздействием силы расширения входит в другую (большого диаметра). Сальниковые компенсаторы используются в трубопроводах с рабочим давлением до 1,6 МПа. Они требуют укладки трубопровода без перекоса во избежание “заедания” стакана; прокладки труб по жесткому основанию во избежание просадки опор; повседневного надзора, своевременной подтяжки и перебивки сальников. Другим недостатком таких компенсаторов является передача на неподвижные опоры больших усилий. Преимуществами их являются отсутствие изгиба труб при удлинении (сжатии) и компактность. Компенсирующая способность составляет 200-300 мм.

Тепловая изоляция трубопроводов. Для предохранения трубопровода от температурного воздействия окружающей среды используют тепловую изоляцию, служащую для:

1) предохранения пара, протекающего по трубопроводу, от конденсации, что может вызвать гидравлические удары;

2) сокращения потерь тепла протекающих по трубопроводу продуктов или сохранения его температуры, необходимой для проведения реакции, а также предупреждения застывания продукта в трубопроводе при его охлаждении;

3) предохранения помещения от нагревания горячими трубопроводами, а обслуживающего персонала - от ожогов. В этом случае температура наружного слоя теплоизоляции не должна превышать 45°C , если трубопровод находится на расстоянии менее 2 м от уровня земли (пола) или от площадки для обслуживания.

Наиболее распространенными теплоизоляционными материалами являются: асбестовый шнур, войлок утеплительный, минерально-ватные маты, маты стекловатные, перлитцементные изделия.

Трубопроводы из неметаллических материалов, обладающих малой теплопроводностью, изоляцией обычно не покрывают.

Техническое освидетельствование трубопроводов. Освидетельствование трубопроводов заключается в наружном осмотре и гидравлическом испытании. Наружный осмотр производят с целью проверки правильности установки и состояния арматуры, прогиба трубопровода, прочности несущих конструкций, надежности закрепления труб в “мертвых” опорах и т.д.

Гидравлическому испытанию трубопровод подвергают после наружного осмотра. При этом трубопровод заполняют водой и специальным насосом создают установленное испытательное давление (табл. 4). Гидравлическое испытание трубопровода на прочность и плотность проводят одновременно. Для проверки прочности трубопровод выдерживает под пробным давлением 10 мин, после чего его снижают до рабочего давления, при котором производят осмотр сварных швов (испытание на плотность). После осмотра давление вновь

повышают до испытательного и выдерживают еще 5 минут, после чего снижают до рабочего и вторично осматривают трубопровод.

Таблица 4

Назначение трубопровода	Испытательное давление	
	на прочность	на плотность
1. Все технологические трубопроводы, кроме указанных в п.п.2, 3, 4	$P_{пр} = 1,25P_{раб}$	$P_{раб}$
2. Трубопроводы, транспортирующие горючие, токсичные и сжиженные газы при $P_{раб} < 0,0095$ МПа $P_{раб} < 0,005$ МПа	0,2	0,1
	не производится	0,02
3. Факельные линии	0,2	0,1
4. Самотечные трубопроводы	0,2	0,1

При проверке плотности при рабочем давлении трубопровод осматривают и остукивают сварные швы молотком массой 1 - 1,5 кг. (удары наносят по трубе рядом со швом).

Результаты гидравлического испытания на прочность и плотность признаются удовлетворительными, если во время испытания не произошло падение давления по манометру и не появились течь и отпотевание на элементах трубопровода.

В отдельных случаях гидравлическое испытание заменяют пневматическим.

Необходимость дополнительного испытания трубопроводов на герметичность после испытания на прочность и плотность устанавливается проектом. При этом давление дополнительного испытания на герметичность принимается, как и при испытании на плотность (см. табл. 4).

После окончания испытаний трубопровод промывают водой, подвергают продувке сжатым воздухом и наносят отличительную (опознавательную) окраску. Окраска трубопроводов выполняется сплошной по всей поверхности коммуникаций или отдельными участками. Ниже приведены цвета опознавательной окраски трубопроводов в зависимости от групп транспортируемых по ним веществ и цифровые обозначения этих групп:

- | | | | |
|-----------|---------|-------------|------------|
| 1. Вода | Зеленый | 6. Кислоты | Оранжевый |
| 2. Пар | Красный | 7. Щелочи | Фиолетовый |
| 3. Воздух | Синий | 8. Жидкости | Коричневый |
| 4. Газы | | горючие | |
| горючие | Желтый | 9. Жидкости | |

5. Газы	негорючие	Коричневый
негорючие Желтый	10. Прочие	
	жидкости	Серый

Для обозначения опасных по свойствам транспортируемых веществ на трубопроводы наносятся дополнительно предупредительные цветные кольца:

красный - ЛВЖ, ГЖ

желтый - токсичные

зеленый - безопасные, нейтральные

Число предупредительных колец (от одного до трех) зависит от режимных параметров (давления и температуры). Например, перегретый водяной пар - кольцо зеленого цвета; при температуре 250-350 °С наносится одно; при 350-450 °С - два; более 450 °С - три.

Если в помещении цеха проходит несколько трубопроводов с веществами одной и той же группы, то для облегчения их определения они окрашиваются красками различных оттенков. На внутрицеховые трубопроводы навешиваются таблички с поясняющими надписями с изображением стрелки, указывающей направление движения потока.

7.1. Арматура химических установок

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 ее в значительной степени определяют безаварийную работу химических производств.

По назначению арматура делится на следующие виды: запорная, обратная, дроссельная, конденсатоотводящая, дыхательная, предохранительная, регулирующая.

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 от -30 до 1500С. Арматура из ковкого чугуна может использоваться для групп Аа, Б при давлении ниже 0,6 МПа и рабочем диапазоне температуры от -10 до 100 0С.

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 надежности, долговечности, взрывозащищенности 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. 5), следующие за ними буквы – материал корпуса (табл. 6), цифры после букв – конструктивные особенности приводов арматуры (табл. 7), буквы после второй группы цифр – материал деталей уплотнений (табл. 8) или вид внутреннего покрытия корпуса (табл. 9).

Таблица 5

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

Таблица 6

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

Известно, что около 80% всей арматуры приходится на долю запорной. В связи с этим в табл. 10 приведены рекомендации по их выбору.

Условные обозначения: 1- задвижка; 2- вентиль; 3- кран пробковый; 4- заслонка (затвор поворотный); 5- мембранная (диафрагмовая) арматура.

Таблица 7

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

Таблица 8

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

Таблица 9

Внутренние покрытия	Обозначение
Гуммирование	гм
Эмалирование	эм
Свинцевание	св
Футерование пластмассой	п

Таблица 10

Требования или условия эксплуатации	Рекомендуется	Допустимое
Герметичность	1; 3; 4; 6	-
Регулирование	2; 5	6
Абразивный износ	4; 6	3
Быстродействие (1/4 об.)	3; 4; 5	-
Высокое давление	1; 2	3; 4
Небольшой шум	1; 3; 4	5; 6
Малые утечки в атмосферу	3; 4; 6	1; 5
Низкая цена	5	1; 4
Небольшое усилие при управлении	3; 4	5; 6
Коррозионная среда	6	3; 4; 5

Требования или условия эксплуатации	Рекомендуется	Допустимое
Высокая температура среды	1	2; 3; 5; 6
Низкие температуры	1	-

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, надежное 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 450⁰С. К недостаткам задвижек относятся невозможность применения для сред с кристаллизующимися включениями, небольшой 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 от - 200 до 450⁰С и давлениях до 25 МПа, если при этом гидравлическое сопротивление запорного устройства не имеет существенного значения, а транспортируемые среды не являются сильно загрязненными. К преимуществам вентиля 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 вентиля по каким-либо соображениям недопустимо или нецелесообразно (например, на полимеризующих жидкостях, на линиях мазута, масел, на отпускных мерниках для спирта, на жидкостях, засоренных твердыми включениями, и т.п.). При этом краны эксплуатируются на трубопроводах, имеющих рабочее давление до 1 МПа и температуру среды до 120⁰С.

Подробную информацию о назначении, конструкции, области применения обратной, дроссельной, конденсатоотводящей, дыхательной, регулирующей арматуре можно найти в специальной литературе /10, 11/.

8. ЗАЩИТА АППАРАТОВ ОТ ПРЕВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Технологическое оборудование, в котором возможно аварийное повышение давления, представляет серьезную 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 надежно защищен 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; выход 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 /2/ 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	0,3-0,6	>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.

8.1. Классификация предохранительных клапанов

Существующие конструкции предохранительных клапанов можно классифицировать по нескольким признакам / 1,12 /.

По способу создания нагрузки различают пружинные и рычажно-грузовые клапаны. В пружинных предохранительных клапанах (рис. 10 а) давлению среды на золотник противодействует сила пружины. Клапан настраивают большим или меньшим поджатием пружины. Пружинно-предохранительные клапаны можно применять на всех аппаратах и установках, где необходимо ограничение давления (по правилам Госгортехнадзора). В рычажно-грузовых предохранительных клапанах (рис. 10 б) сила давления среды уравнивается весом груза.

По высоте подъема золотника предохранительные клапаны подразделяются на низкоподъемные, среднеподъемные и полноподъемные.

У низкоподъемных клапанов отношение высоты подъема золотника h к диаметру сопла d составляет $1/20 - 1/40$. Такие клапаны применяют только для жидких сред.

Среднеподъемные клапаны ($h/d = 1/6 - 1/10$) применяются в качестве перепускных клапанов, так как они, несмотря на усложненную конструкцию, имеют низкую производительность.

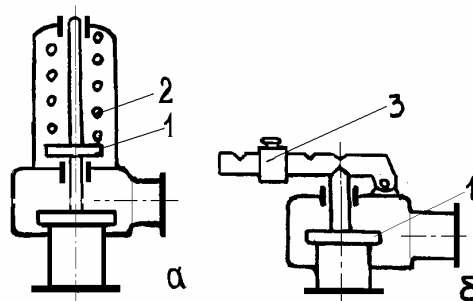


Рис. 10. Основные типы предохранительных клапанов:

- а – пружинный; б – рычажный;
1 – золотник; 2- пружина; 3 – рычаг

Полноподъемные клапаны отличаются высокой производительностью, поскольку сечение щели при подъеме золотника равно или больше сечения сопла клапана ($h/d > 1/4$). Полноподъемность обеспечивается за счет золотника, имеющего специальную форму (рис. 11).

Когда предохранительный клапан закрыт, давление действует на площадь золотника, ограниченную уплотнительной поверхностью сопла. Когда клапан открывается, эффективная площадь воздействия давления среды на золотник мгновенно увеличивается на величину площади, ограниченную буртиком

втулки. На золотник начинают действовать динамические силы вытекающей струи, в результате чего происходит быстрое и полное поднятие золотника.

При выборе предохранительных клапанов следует отдавать предпочтение полноподъемным клапанам, так как их большая пропускная способность по сравнению с низкоподъемными клапанами обеспечивает надежность системы при меньшем количестве клапанов.

По способу выпуска среды различают предохранительные клапаны открытого и закрытого типов.

Клапаны открытого типа выпускают рабочую среду непосредственно в

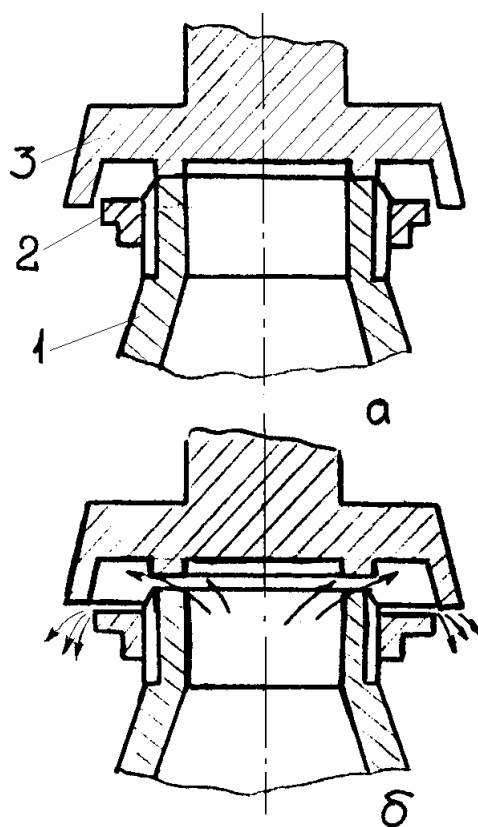


Рис. 11. Запорный орган полноподъемного клапана в закрытом (а) и открытом (б) положении:
1 – сопло; 2 – регулирующая втулка; 3 –золотник

атмосферу, поэтому их применяют в нетоксичных средах. Клапаны закрытого типа имеют патрубок для подсоединения отводящего трубопровода. Сбрасываемая среда отводится в специальные герметичные емкости или на факельные системы. Такие клапаны устанавливают в системах с токсичными и взрывоопасными продуктами переработки.

Технические данные предохранительных клапанов, наиболее широко применяемых в химической промышленности, представлены в таблице 11 / 1,12 /.

Таблица 11

Предохранительный клапан	Шифр	Среда	Давление P_y , кгс/см ²	Диаметр прохода D_y , мм	Максимальная температура среды, °С
Пружинный полноподъемный с рычагом для контрольной продукции	ППК4	Неагрессивные нефтепродукты	16, 40	25, 50, 80	350
Специальный пружинный полноподъемный	СППК4	Неагрессивные нефтепродукты	16, 40, 64 160	50, 80 100, 150	350
То же	СППК4	Агрессивные жидкости и газы	16, 40, 64	50, 80, 100	600
Пружинный полноподъемный диафрагмовый	ППКДМ	Сжиженные газы, среды, содержащие сероводород	16	100	100
Пружинный низкоподъемный	17с12нж	Аммиак, пар, вода	16	25, 50	225
Пружинный низкоподъемный	17с24нж	Пар, вода	40	50, 80	400
Рычажный низкоподъемный	17ч3бр	Пар, вода	16	25, 50, 80, 100	225
Рычажный низкоподъемный	17ч3нж	Нейтральные жидкости и газы	16	50, 80	425

8.2. Расчет предохранительных клапанов

При расчете предохранительных клапанов может стоять одна из двух задач:

- 1) рассчитать размеры ПК для заданных условий работы, выбрать его по каталогу или стандарту;
- 2) рассчитать пропускную способность ПК заданного типоразмера и определить его пригодность для работы в заданных условиях.

Независимо от типа решаемой задачи следует выполнить условие: пропускная способность G предохранительного клапана должна быть не менее аварийного притока G_a , т.е. $G > G_a$.

Аварийный массовый приток среды G_a (кг/с) определяется в зависимости от особенностей технологического процесса. Например, при подаче рабочей среды в аппарат компрессором или насосом величину G_a принимают равной

массовой производительности компрессора или насоса. Клапаны, установленные на ректификационных колоннах, должны стравливать все количество паров, поступающих в колонну и образующихся в колонне. Для определения G_a в случае выхода из-под контроля химических реакций или прорыва легкокипящих жидкостей необходимо знать динамику развития процессов.

Во многих случаях наиболее опасной аварийной ситуацией является взрыв технологической среды внутри аппарата. Аварийный приток в этом случае связан с соответствующей ему скоростью нарастания давления взрыва уравнением состояния:

$$G_a = \frac{MV}{RT_{cp}} \frac{dP}{d\tau}, \quad (8)$$

где M - молекулярная масса продукта, кг/моль; V - объем аппарата, м³; $R = 8314$ кДж/(кмоль К) - универсальная газовая постоянная; T_{cp} - средняя температура продукта в аппарате, К; $dP/d\tau$ - скорость роста давления в аппарате при взрыве, Па/с [1, 13, 14].

В соответствии с ГОСТ 12.2.085-82 пропускная способность ПК определяется по формулам:

$$\text{для жидких сред} \quad G = 5,03\alpha F \sqrt{(P_1 - P_2)\rho}, \quad \text{кг/ч}, \quad (9)$$

$$\text{для газов и паров} \quad G = 3,16B\alpha F \sqrt{(P_1 + 0,1)\rho}, \quad \text{кг/ч}, \quad (10)$$

где F - наименьшая площадь сечения проточной части седла клапана, мм²; α - коэффициент расхода; P_1 - максимальное (избыточное) давление перед ПК, МПа (соотношения между P_1 и наибольшим рабочим давлением в аппарате P_p были приведены выше); P_2 - максимальное (избыточное) давление за ПК, МПа; ρ - плотность жидкости перед клапаном при P_1 и ее температуре t_1 перед клапаном, кг/м³; B - коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов и паров при параметрах среды перед клапаном.

Ниже приведена методика определения параметров, входящих в формулы (8) и (9).

Значения коэффициента α определяются по паспортным данным ПК или по их каталогам. Для ориентировочного расчета ПК можно считать $\alpha = 0,05$ для низкоподъемных ПК; $\alpha = 0,3$ и $0,1$ - для среднеподъемных ПК, соответственно для газообразных и жидких сред; $\alpha = 0,6$ и $0,1$ - для полноподъемных, соответственно для газообразных и жидких сред.

Плотность пара или реального газа ρ_2 (кг/м³) определяют по таблицам или диаграммам состояния данной среды либо рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{10^6 (P_1 + 0,1)M}{8314z(t_1 + 273)}, \quad (11)$$

где M - молекулярная масса продукта, кг/кмоль; z - коэффициент сжимаемости реального продукта, принимается по справочным данным с учетом давления P_1 и температуры t_1 /1, 15/.

Коэффициент B_3 для газов и паров вычисляется по формулам: при дозвуковом режиме истечения ($\beta > \beta_{кр.}$)

$$B = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left(\beta^{\frac{2}{k}} - \beta^{\frac{k+1}{k}} \right)}, \quad (12)$$

при сверхзвуковом режиме истечения ($\beta \leq \beta_{кр.}$)

$$B = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, \quad (13)$$

где K - показатель изэнтропы расширения газа (принимается по справочным данным /1, 14/; β - отношение давлений за и перед ПК, $\beta_{кр.}$ - критическое отношение давлений:

$$\beta = \frac{P_2 + 0,1}{P_1 + 0,1}; \quad \beta_{кр.} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}, \quad (14)$$

Порядок расчета ПК следующий:

- 1) определить характер и величину аварийного расхода (G);
- 2) определить допускаемое превышение давления в аппарате при работе ПК;
- 3) определить характеристику среды перед и за ПК;
- 4) рассчитать площадь проходного сечения клапана F по формулам (9) и (10) и определить диаметр проходного сечения;
- 5) выбрать тип (марку) ПК;
- 6) выбрать ПК по каталогу так, чтобы D_y клапана было равно или превышало расчетное значение диаметра проходного сечения.

В случае необходимости определения пропускной способности ПК известного диаметра определяется значение G по формулам (9) или (10) и сравнивается результат с аварийным притоком G_a . ПК пригоден для заданных условий работы, если $G \geq G_a$.

При определении величины проходного сечения клапана следует иметь в виду, что если F выбран малым, клапан не обеспечит требуемого снижения давления. Если клапан выбран слишком большим F , то он будет работать неустойчиво, т.к. сброс чрезмерно большого объема рабочей среды вызовет быстрое падение давления, клапан закроется, после чего давление снова будет нарастать, клапан откроется, и эти циклы будут продолжаться - возникает пульсационный режим работы.

8.3. Требования к установке и эксплуатации предохранительных клапанов

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 приемного 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 разъемные соединения проверяют на герметичность. Допустимое отклонение от давления срабатывания правильно отрегулированного полноподъемного 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 ее 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 надежности 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 250⁰С 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 250⁰С - не реже одного раза в 3 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, отнесенные 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 расчетное 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 взамен предохранительных клапанов используются предохранительные мембраны.

8.4. Предохранительные мембраны. Типы мембран, требования к их материалам

Предохранительные мембраны представляют собой специально ослабленные устройства с точно рассчитанным порогом разрушения по давлению.

По сравнению с предохранительными клапанами мембраны имеют следующие преимущества: обеспечивают герметичное закрытие сбросного отверстия (до срабатывания мембраны); могут применяться для защиты оборудования, содержащего высококоррозионные, кристаллизующие среды; менее инерционны; дешевы и просты в изготовлении.

Недостатки предохранительных мембран: однократность применения; сравнительно большая допускаемая разность между давлением срабатывания и рабочим давлением, что требует повышенного запаса прочности защищаемого оборудования.

Применение мембран вместо предохранительных клапанов (или совместно с ними) позволяет значительно повысить степень герметичности оборудования, что в условиях химической промышленности означает уменьшение потерь ценных продуктов и снижение загазованности производственных помещений и окружающей атмосферы.

На современных химических предприятиях применяются мембраны диаметром от 2 до 1300 мм на разрушающее давление от 0,002 до 215 МПа в диапазоне рабочих температур от -183 до +1500 °С.

Предохранительные мембраны с учетом характера их разрушения подразделяют на разрывные, ломающиеся, отрывные, срезные, выщелкивающие (рис. 12).

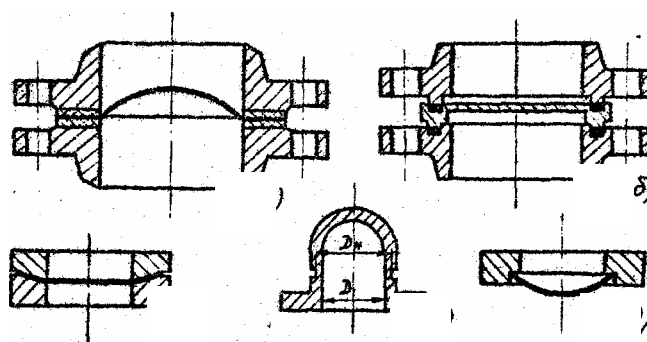


Рис. 12. Основные типы предохранительных мембран:
а – разрывная; б – ломающаяся; в – срезная;
г – отрывная; д – выщелкивающаяся

Разрывные мембраны изготавливаются из тонколистового металлического проката. Мембрана (рис. 12а) защемляется во фланцевом соединении с помощью зажимных колец. При нагружении мембраны рабочим давлением она испытывает пластические деформации и приобретает куполообразную форму. Куполообразную форму мембране часто придают также при изготовлении, что увеличивает быстродействие мембраны, позволяет обнаружить скрытые дефекты металла.

Возможность применения разрывных мембран ограничивается номенклатурой тонколистового металлического проката, выпускаемого промышленностью. Особенно трудно с помощью разрывных мембран защищать оборудование, работающее на низком давлении.

Ломающиеся мембраны изготавливаются из хрупких материалов (чугун, графит, стекло и т.п.) и поэтому их срабатыванию не предшествуют

заметные пластические деформации. Ломающиеся мембраны хорошо работают в условиях динамических и пульсирующих нагрузок. Толщина мембраны может задаваться любой в процессе изготовления, что исключено при изготовлении разрывных мембран из стандартного тонколистового материала. Изготовление ломающихся мембран несложно.

Наиболее распространены в настоящее время ломающиеся мембраны из чугуна с выточкой (рис. 12б). Их используют для защиты котлов высокоорганических теплоносителей, трубопроводов аммиачно-метанольных производств, устанавливают перед предохранительными клапанами в цистернах с жидким хлором и другими агрессивными средами.

Ломающиеся мембраны весьма чувствительны к равномерности затяжки фланцевого соединения; при несоблюдении этого условия мембрана может разрушиться при монтаже. Основным недостатком ломающихся мембран является большой разброс давления срабатывания из-за невоспроизводимости механических свойств материала мембраны. Поэтому во многих случаях они не обеспечивают надежной защиты оборудования.

Срезные мембраны (рис. 12в) при срабатывании срезаются по острой кромке верхнего прижимного кольца. Материалом для изготовления мембран служит листовой алюминий, а прижимные кольца выполняют из стали. Срезные мембраны наиболее часто применяют для защиты сборников жидкого аммиака и метанола.

Отрывные мембраны применяют для защиты систем высокого давления (свыше 25 МПа) при диаметре сбросных отверстий 20-60 мм. Мембраны имеют форму колпачков (рис. 12г) с ослабленным сечением. Отрывные мембраны успешно используют для защиты аппаратов в производствах полиэтилена и некоторых других.

Выщелкивающиеся мембраны представляют собой тонкостенный сферический сегмент, припаянный или приклеенный к опорному кольцу, обращенный выпуклой поверхностью в сторону рабочего давления (рис. 12д).

При превышении давления в аппарате выше заданной величины сферический сегмент теряет устойчивость и мембрана выворачивается в другую сторону. Этот процесс происходит очень резко с хлопком, вследствие чего мембрана отрывается от кольца в месте припайки и уносится потоком сбрасываемого газа. Выщелкивание мембраны применяют для защиты аппаратов, работающих при низких давлениях и вакууме.

Материалы предохранительных мембран должны обладать следующими основными свойствами:

а) иметь стабильные механические свойства при рабочей температуре. Максимальное отклонение предела прочности при растяжении не должно превышать +5% от средней величины;

б) быть коррозионностойким в технологической среде, содержащейся в аппарате;

в) структура материала и его механические свойства не должны изменяться в процессе эксплуатации мембраны;

г) допуск на толщину проката (фольги, ленты), применяемого для изготовления мембран, должен быть минимальным.

Применение различных материалов для изготовления мембран ограничивается максимально допустимой рабочей температурой в месте их установки. При более высоких температурах возможны ложные срабатывания мембран при рабочем давлении вследствие значительной ползучести материала. Некоторые характеристики материалов, идущих на изготовление промышленных мембран, представлены в табл. 12 /1, 13/.

Таблица 12

Материал мембран	Максимальный рабочий диаметр, мм	Максимальная рабочая температура, °С	$P_c \cdot D$, МПа мм	Предел прочности при одностороннем растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве
Алюминий	400	100	10-40	40-120	0,03 - 0,2
Никель	140	480	44-400	450-550	0,02 - 0,1
Нержавеющая сталь	300	300	172	800-1000	0,05 - 0,2
Титан	140	300	48-96	-	-
	170	300	270-320	-	-
	300	300	687	-	-
Латунь	140	150	24-60	300-600	0,1 - 0,15
	225	150	65-230		
Бронза	65	150	30,5-79	400-900	0,03 - 0,2

Величина $P_c \cdot D$ - произведение давления срабатывания P_c на рабочий диаметр мембраны D - является основным критерием для определения возможности изготовления мембраны из данного материала.

8.5. Расчет предохранительных мембран

Расчет предохранительных мембран (ПМ) сводится к определению толщины мембраны или других геометрических размеров из условия срабатывания ее при заданном давлении.

Давление срабатывания мембраны P_c должно лежать в пределах $P_{c_{\min}} \leq P_c \leq P_{c_{\max}}$. В свою очередь, максимальное $P_{c_{\max}}$ и минимальное $P_{c_{\min}}$ давления срабатывания должны удовлетворять условиям

$$P_{c_{\max}} \leq P_n \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t}; \quad P_c \leq KP_p, \quad (15)$$

где P_n и P_p - пробное и рабочее давление в аппарате; σ_{20} и σ_t - допускаемые напряжения для материала аппарата по пределу текучести соответственно при температуре 20 °С и рабочей температуре; K - коэффициент запаса, исключающий ложное срабатывание мембраны (для выщелкивающихся и ломающихся мембран $K = 1,05; 1,1; 1,5$ соответственно для никелевых, стальных и алюминиевых мембран).

Площадь проходного сечения сбросного отверстия S для ПМ определяется из условия предотвращения разрушения аппарата в случае самой опасной из всех возможных ситуаций. Наиболее опасной является та аварийная ситуация, при которой происходит рост давления с наибольшей скоростью.

Зная значение скорости нарастания давления $dP/d\tau$, можно определить величину аварийного притока технологической среды G_a .

Расчет проходного сечения сбросного отверстия S заключается в выполнении условия компенсации аварийного притока G_a среды через мембраны, т.е. $G \geq G_a$.

С учетом данного условия величина S может быть определена при звуковом режиме истечения $\beta > \beta_{кр}$ (см. уравнение 14).

$$S \geq G_a \left[\mu P_m \sqrt{\frac{2M}{RT} \frac{k}{k-1} \left(\beta^{\frac{2}{k}} - \beta^{\frac{k+1}{k}} \right)} \right]^{-1}, \quad \text{м}^2; \quad (16)$$

при сверхзвуковом режиме истечения

$$S \geq G_a \left[\mu P_m \sqrt{\frac{KM}{RT} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \right]^{-1}, \quad \text{м}^2 \quad (17)$$

где G_a – массовый расход среды, кг/с; μ - коэффициент расхода через сбросное отверстие, допускается принимать равным 0,7 - 0,8; P_m - максимально допустимое абсолютное давление в аппарате, которое принимается равным абсолютному давлению срабатывания мембраны, Па; параметры $k, \beta, \beta_{кр}, M, R, T$ были обозначены ранее.

Для обеспечения разрушения мембраны при заданном избыточном давлении срабатывания P_c ($P_c = P_{max} - 0,1$, МПа) необходимо определить толщину металлопроката, из которого изготовлена мембрана, а также другие ее геометрические размеры.

При расчете мембраны на заданное давление срабатывания исходными данными являются рабочий диаметр мембраны D , рабочая температура t , состав технологической среды в защищаемом аппарате, а также материал мембраны, который выбирается по табл. 12 из условия достаточной коррозионной стойкости в данной технологической среде. Зависимости для расчета предохранительных мембран различного типа представлены в специальной литературе /12/.

8.6. Особенности установки и эксплуатации предохранительных мембран

Мембранные устройства тем надежнее, чем ближе они расположены к центру зарождения взрыва. Желательнее мембраны устанавливать в наиболее высокой части аппарата с тем, чтобы после срабатывания удалялись в первую очередь скапливающиеся в аппарате пары и газы. При сбросе технологической среды непосредственно в атмосферу верхний обрез сбросного трубопровода должен находиться значительно выше площадки обслуживания мембранного устройства, а 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°C) нужен для предотвращения обмерзания, т.к. с понижением температуры давление срабатывания значительно возрастает. Воздействие высоких температур, наоборот, снижает разрывное давление и поэтому мембранный узел целесообразно теплоизолировать и иногда охлаждать.

Во избежание загрязнения атмосферы вредными парами и газами желательно предусмотреть возможность сброса таких веществ в замкнутую систему или в резервные емкости. 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.

Все предохранительные мембраны имеют ограниченный срок службы. Поэтому необходимо, чтобы замена мембран была легкой, быстрой и безопасной. Замену мембран, срок службы которых истек, проводят в период плановых остановок.

В тех случаях, когда замену мембраны необходимо производить без остановки работы оборудования (технологического процесса), применяют параллельную установку мембран. В рабочих условиях нагрузку воспринимает одна мембрана, другая - резервная. Мембраны устанавливаются последовательно, если срок службы одной мембраны в конкретных рабочих условиях недостаточен из-за агрессивного воздействия технологической среды. При этом после разрушения нижней мембраны верхняя мембрана будет воспринимать нагрузку до тех пор, пока нижняя не будет заменена.

8.7. Совместное применение предохранительных клапанов и мембран

Разнообразие условий работы оборудования и технических характеристик предохранительных устройств требует для создания наиболее эффективных систем защиты использовать совместно 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. Данное предохранительное устройство обладает полной герметичностью в рабочем состоянии, поэтому оно применяется в аппаратах, содержащих особо токсичные и ядовитые вещества. Другим важным преимуществом этого устройства является то, что при его срабатывании давление из защищаемого аппарата сбрасывается не полностью и, следовательно, отсутствует необходимость останавливать технологический процесс.

В некоторых случаях мембрана может устанавливаться и после клапана. Это позволяет достичь полной герметичности предохранительного узла, позволяет заменить сработавшую мембрану без остановки аппарата. Но при такой схеме соединения не обеспечивается защита клапана от агрессивного воздействия среды.

Мембрану и предохранительный клапан устанавливают параллельно в тех 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.

9. ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Защитные устройства являются специальными дополнениями к основному оборудованию и служат для обеспечения безопасности его эксплуатации и защиты обслуживающего персонала. Необходимость защитных устройств связана с возникновением так называемых опасных зон, т.е. пространств, в

которых постоянно действуют или периодически возникают ситуации, опасные для жизни и здоровья обслуживающего персонала. Опасные зоны возникают при эксплуатации машин, станков и аппаратов, имеющих движущиеся, вращающиеся, толкающие, режущие части и детали, а также при эксплуатации подъем-

но-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 предназначены 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 технологического 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 подает импульс тока к электромагнитному усилителю и поляризованному реле. Контакты электромагнитного реле обесточивают 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 перестает 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, воздуходувках и т.д. В случае превышения допустимого значения давления реле давления подает 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, шестерней 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 грузоподъемным 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, оголенных 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 средства 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, решетчатые) и комбинированные; по способу установки – на стационарные и передвижные. Возможно применение подвижного (съёмного) ограждения. Оно представляет собой устройство, заблокированное 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 расчете на прочность ограждений машин и агрегатов для обработки металлов и дерева необходимо учитывать возможность вылета и удара об ограждение обрабатываемых заготовок. Расчет ограждений ведется по специальным методикам /14/.

10. Обеспечение защиты от производственных вибраций

В производственных условиях применяются разнообразные машины, аппараты и инструменты, являющиеся источниками вибрации. Вредное действие вибрации выражается в понижении к.п.д. машин и механизмов, преждевременном износе их узлов и деталей и, как следствие, необходимость 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 /15/. Поэтому устранение или снижение вибрации является одним из условий обеспечения безопасности на производстве. Она осуществляется на базе трех 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 объемного 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 /15/.

Виброгашение (увеличение реактивной составляющей сопротивления системы колебания) реализуется за счет увеличения массы и жесткости машин или станков. Для этого машины и станки объединяют в единую систему с фундаментом анкерными болтами или цементной подливкой или же устанавливают на опорных плитах и виброгасящих основаниях (рис. 13).

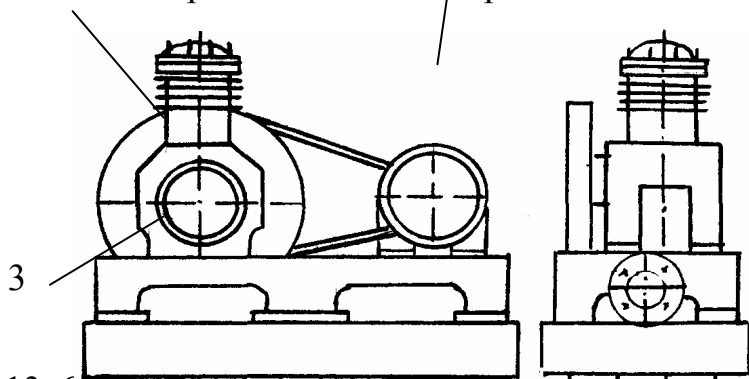


Рис. 13. С ящие основания:

1 – компрессор; 2- электродвигатель;

3 – виброгасящее основание

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

Эффективным методом снижения вибраций является динамическое виброгашение. Такие 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 счет введения в систему дополнительной упругой связи. Виброизоляция является более дешевым 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 воздухопроводов 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. 14).

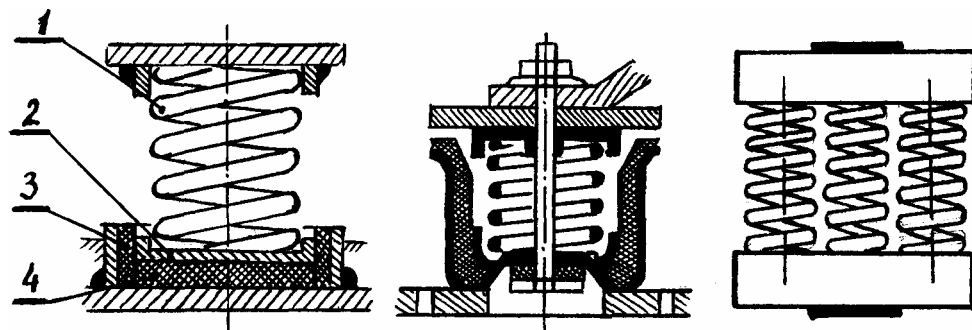


Рис. 14 Схема комбинированного виброизолятора (амортизатора):
1 – пружина; 2 – опорная шайба; 3, 4, - резиновые прокладки

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

$$K = \left[(f / f_0)^2 - 1 \right]^{-1}, \quad (18)$$

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

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

$$f_0 = 5x_{cm}^{-0,5}, \quad (19)$$

Здесь x_{cm} - статическая осадка (жесткость) виброизолятора, см.

$$x_{cm} = m / k_z = h\sigma / E, \quad (20)$$

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 /1/.

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 жесткости, можно определить силу, действующую на один виброизолятор. В дальнейшем для резиновых прокладок находят необходимую высоту h , а при расчете пружинных виброизоляторов определяют диаметр пружины и число витков /16/.

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. 14).

Вибродемпфирование заключается в уменьшении уровня вибрации за счет превращения механических колебаний в тепловую энергию. Характеристикой вибродемпфирования является коэффициент потерь. Вибродемпфирование может быть реализовано в машинах с интенсивными динамическими нагрузками путем 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 путем нанесения на колеблющиеся объекты материалов с высоким коэффициентом потерь. Вибропоглощающие покрытия могут быть жесткими (твердые пластмассы) и мягкими (пенопласт, винипор). Жесткие покрытия деформируются в направлении, параллельном рабочей поверхности. Они наиболее эффективны при многослойном выполнении (коэффициент потерь достигает 0,4). Мягкие покрытия деформируются по толщине и имеют коэффициент потерь до 0,5. Действие жестких 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 ее 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 часа после начала работы – 20 минут; через 2 часа после обеда – 30 минут. Превышение ПДУ на 12 дБ является основанием для прекращения эксплуатации данного оборудования.

11. Основы электробезопасности

Анализ электротравматизма в химической промышленности показывает, что значительное число электротравм обусловлено неблагоприятными факторами окружающей среды и в первую очередь химически активной средой, сыростью, запыленностью и высокой температурой.

Электроустановками называются установки, в которых производится, преобразуется, распределяется и потребляется электроэнергия; к ним также относятся установки, содержащие в себе источники электроэнергии (химические, гальванические и полупроводниковые элементы).

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

Электробезопасность должна обеспечиваться: выполнением требований (правил и норм) к конструкции и устройству электроустановок, установленных в стандартах системы безопасности труда, а также в стандартах и технических условиях на электротехнические изделия; высоким уровнем организации эксплуатации и ремонта электроустановок, использованием технических средств защиты; организационными и техническими мероприятиями / 17-27 /.

11.1. Причины электротравм и действие электрического тока на организм человека

Причины электротравм подразделяют на технические, организационно-технические, организационные и организационно-социальные.

Технические причины – несоответствие электроустановок, средств защиты и приспособлений требованиям безопасности и условиям применения, связанное с дефектами конструкторской документации, изготовления, монтажа и ремонта; неисправности установок, средств защиты и приспособлений, возникающие в процессе эксплуатации.

Организационно-технические причины – несоблюдение технических мероприятий безопасности, которые должны осуществлять потребители на стадии эксплуатации (обслуживания) электроустановок; несвоевременная замена неисправного или устаревшего электрооборудования.

Организационные причины – невыполнение или неправильное выполнение организационных мероприятий безопасности, несоответствие выполняемой работы заданию.

Организационно-социальные причины - работа в сверхурочное время; несоответствие работы специальности; нарушение трудовой дисциплины;

допуск к работе на электроустановках лиц моложе 18 лет; привлечение к работе лиц, имеющих медицинские противопоказания.

При рассмотрении причин необходимо учитывать так называемые человеческие факторы. К ним относятся как психофизиологические, личностные факторы (отсутствие у человека необходимых для данной работы индивидуальных качеств, нарушение его психологического состояния и пр.), так и социально-психологические (неудовлетворительный психологический климат в коллективе, условия жизни и пр.)

Травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги, называется электротравмой. По сравнению с другими видами производственного травматизма электротравматизму присущи некоторые особенности:

- когда человек имеет дело с другими видами энергии, он в большинстве случаев видит или чувствует опасность и поэтому может избежать её. При работе с электрическим током отсутствуют видимые признаки опасности поражения;
- электротравмы можно получить не только при прикосновении или недопустимом приближении к металлическим частям установки, находящимся под напряжением или оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции, но при перемещении по земле вблизи мест повреждения электрической изоляции или мест замыкания токоведущих частей на землю. Кроме того, опасно и воздействие электромагнитных колебаний, возникающих при работе некоторых электрических установок;
- внезапность воздействия электрического тока на организм человека снижает его защитные свойства. Кроме того, в результате действия электрического тока на обслуживающий персонал опасность усугубляется тем, что возможны резкие произвольные движения пострадавшего, которые могут привести к соприкосновению с другими токоведущими частями или к падению его с высоты.

Современная теория, объясняя процессы, происходящие в теле человека при действии электрического тока, рассматривает их как рефлекторные, вызванные реакцией нервной системы в ответ на раздражение током. Одновременно, проходя через организм человека, электрический ток может оказывать непосредственное биологическое, электролитическое, тепловое и механическое воздействие.

Биологическое действие тока - это раздражение и возбуждение живых тканей организма. Вследствие этого наблюдаются судороги скелетных мышц, которые могут привести к остановке дыхания, спазму голосовых связок.

Электролитическое действие тока проявляется в электролизе (разложении) органических жидкостей, в том числе крови, а также существенно изменяет функциональное состояние клеток.

Тепловое действие электрического тока приводит к ожогам отдельных участков тела, нагреву кровеносных сосудов, крови.

Механическое действие электрического тока проявляется в расслоении и разрыве тканей.

Электротравмы условно можно разделить на местные, общие (электрические удары) и смешанные (одновременно местные электротравмы и электрические удары). Местные электротравмы составляют 20%, электрические удары - 25% и смешанные - 55% от общего числа электротравм.

Характерные виды местных электротравм - это электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения. Причем электрические ожоги составляют 60-65% и около 1/3 их сопровождаются другими видами травм.

Электрический ожог - результат теплового воздействия электрического тока в месте контакта тела человека с электродом. Количество тепла (в калориях), выделяемое в ткани тела человека при прохождении электрического тока, определяется законом Джоуля-Ленца:

$$G = 0,24 I_{\text{ч}}^2 R_{\text{ч}} t , \quad (21)$$

где $I_{\text{ч}}$ - ток, проходящий через тело человека, А; $R_{\text{ч}}$ - сопротивление тела человека, Ом; t - время протекания тока через тело человека, с.

Вследствие значительного сопротивления кожи наблюдаются преимущественно поверхностные ожоги (70-80%). Однако при прохождении тока повышенной частоты могут быть внутренние ожоги даже без заметного повреждения поверхности кожи.

Различают 4 степени электрических ожогов:

1 степень - покраснение кожи;

2 степень - образование пузырей на поверхности кожи;

3 степень - обугливание кожи;

4 степень - обугливание подкожной клетчатки, мышц, костей.

Ожоги с тяжелым исходом имеют место преимущественно при контакте человека с токоведущими частями высоковольтных установок.

Электрические знаки – это четко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи человека, подвергнувшейся действию тока. В отличие от ожогов электрические знаки обычно возникают при хорошем контакте кожи с электродом. По внешнему виду электрические знаки представляют собой круглые или эллиптические образования серого или желтоватого цвета с резко очерченными краями. Размеры их не превышают 5-10 мм. В некоторых случаях форма электрического знака представляет собой

отпечаток электрода. Электрические знаки могут возникнуть как в момент прохождения тока, так и спустя некоторое время после контакта с электродом. Знаки возникают примерно у 20% пострадавших от тока. Болезненных ощущений они не вызывают, а со временем исчезают.

Металлизация кожи - это повреждение участка кожи в результате проникновения в неё мельчайших частиц металлического электрода, расплавившегося под действием электрической дуги. Это возможно при коротких замыканиях, отключениях разъединителей и рубильников под нагрузкой и т.п. Окраска металлизированного участка кожи зависит от металла электрода: зеленая - при контакте с красной медью, сине-зеленая - при контакте с латунью, серо-желтая - при контакте со свинцом. С течением времени металлизированная кожа обычно отслаивается, пораженный участок приобретает нормальный вид, исчезают болезненные ощущения.

Механическое повреждение - следствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервов, а также вывихи суставов и переломы костей. Механические повреждения - серьезные травмы, лечение их длительное, но они происходят сравнительно редко.

Электроофтальмия - воспаление наружных оболочек глаз, вызванное интенсивным излучением электрической дуги, в спектре которой имеются вредные для глаз ультрафиолетовые и инфракрасные излучения. Возникает сравнительно редко (1-2%), чаще всего при проведении электросварочных работ.

Электрический удар - электротравма, вызванная рефлекторным действием электрического тока, т.е. действием через нервную систему. Ток, проходя через тело человека, раздражает периферические окончания чувствительных нервов, в результате чего наступает возбуждение тканей организма, сопровождающееся сокращением мышц. При этом исход воздействия тока на организм может быть различен - от легкого, едва ощутимого сокращения мышц пальцев руки до прекращения работы сердца или лёгких, т.е. до смертельного поражения.

Различают 4 степени электрического удара:

I - судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II - судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;

III - потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

IV - клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Сила электрического удара зависит прежде всего от величины и рода тока, протекающего через человека. Анализ электротравм показывает, что многие

несчастные случаи могли бы не иметь летального исхода, если бы в первые минуты пострадавшим была оказана квалифицированная помощь.

Первая помощь состоит из двух этапов:

- 1) освобождение пострадавшего от действия электрического тока;
- 2) оказание ему первой доврачебной помощи.

Первым действием должно быть быстрое отключение той части установки, к которой прикасается пострадавший. Если быстро отключить установку нельзя, надо отделить пострадавшего от токоведущих частей.

При напряжении до 1000 В для отделения пострадавшего от токоведущих частей следует воспользоваться сухой палкой, доской, веревкой, одеждой или другим сухим непроводником, не прикасаясь при этом к металлическим предметам и частям тела, не покрытым одеждой. При необходимости можно перерубить или перерезать провода (каждый в отдельности) топором с сухой деревянной рукояткой или инструментами с изолированными рукоятками.

При напряжении выше 1000 В нужно надеть боты, перчатки и действовать изолирующими штангой или клещами, предназначенными для соответствующего напряжения.

Во всех случаях поражения электрическим током вызов врача является обязательным независимо от состояния пострадавшего. При этом необходимо начать оказание соответствующей помощи пострадавшему:

- если пострадавший находится в сознании, его следует уложить и до прибытия врача обеспечить полный покой, непрерывно наблюдая за дыханием и пульсом;

- если отсутствует сознание, но сохранились устойчивые дыхание и пульс, нужно уложить пострадавшего, расстегнуть пояс и одежду, обеспечить приток свежего воздуха и полный покой, давать пострадавшему нюхать нашатырный спирт и обрызгивать его водой;

- если пострадавший плохо дышит (редко, судорожно, как бы со всхлипыванием), необходимо делать искусственное дыхание и массаж сердца;

- если отсутствуют признаки жизни (дыхание, сердцебиение, пульс), то нельзя считать пострадавшего мёртвым, т.к. смерть часто бывает лишь кажущейся. В этом случае надо делать искусственное дыхание и массаж сердца немедленно и непрерывно до прибытия врача. В противном случае через 5-6 минут начинают гибнуть нейроны коры головного мозга и клиническая смерть переходит в биологическую.

11.2. Факторы, влияющие на тяжесть поражения электрическим током

Опасность воздействия электрического тока на организм человека зависит от электрического сопротивления тела и приложенного к нему напряжения, силы тока, длительности его воздействия, путей прохождения тока через человека, рода и частоты тока, индивидуальных особенностей человека, окружающей среды и ряда других факторов.

Электрическое сопротивление тела человека. Тело человека является проводником электрического тока. Оно неоднородно по электрическому сопротивлению (кожа, кости, жировые ткани имеют большее сопротивление, чем кровь, спинной и головной мозг, мышечная ткань). Так, при протекании тока промышленной частоты удельное сопротивление сухой кожи составляет $3 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$ Ом·см, жировой ткани $3 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^3$ Ом·см, мышечной ткани 150-300 Ом·см, крови 100-300 Ом·см.

При рассмотрении вопросов электробезопасности важное значение имеет полное сопротивление тела человека. Полное сопротивление тела человека есть сумма сопротивлений живых тканей, расположенных на пути протекания тока. Оно зависит от приложенного напряжения, длительности протекания тока, ряда физиологических факторов, колеблется в широких пределах и может принимать значения от нескольких сотен Ом до нескольких МОм.

Основным фактором, определяющим величину полного сопротивления тела человека, является состояние кожного покрова в цепи тока, т.к. удельное сопротивление кожи на несколько порядков превышает данный параметр для мышечной ткани.

Сопротивление тела человека при сухой, чистой и неповрежденной коже (измеренное при напряжении 15-20 В) колеблется от 3000 до 100000 Ом, а при удалении вглубь от верхнего слоя кожи падает до 500-1000 Ом. При переменном токе промышленной частоты за расчетное принимают сопротивление тела человека, равное 1000 Ом, объясняя это тем, что при повреждении кожного покрова сопротивление тела человека определяется сопротивлением внутренних органов, которое примерно равно указанной величине. Различные повреждения верхнего слоя кожи (порезы, царапины, ссадины), увлажнение её водой или потом, загрязнение веществами, проводящими ток (химические вещества, металлическая или угольная пыль и др.), резко снижают сопротивление тела человека. Кроме того, сопротивление тела зависит от площади и места контакта. Наименьшее сопротивление электрическому току имеет кожа лица, шеи, рук, тыльная сторона ладони.

С увеличением напряжения, приложенного к телу человека, уменьшается сопротивление кожи, а следовательно, и полное сопротивление тела, которое приближается к своему наименьшему значению 300-500 Ом. Это объясняется пробоем рогового слоя кожи, увеличением тока, проходящего через неё. Зная сопротивление тела человека ($R_{\text{ч}}$) и значение условно безопасной величины тока ($I_{\text{без}}=10$ мА), можно определить безопасное напряжение $U_{\text{без}}=R_{\text{ч}} \cdot I_{\text{без}}$,

$$U_{\text{без}} = 1000 \cdot 0,01 = 10 \text{ В.}$$

Сопротивление тела человека зависит от пола и возраста людей: у женщин это сопротивление меньше, чем у мужчин; у детей - меньше, чем у взрослых. Это объясняется толщиной и степенью огрубления верхнего слоя кожи.

Род, частота и путь тока. Наибольшую опасность для человека представляет переменный ток частотой 50 Гц. С повышением его частоты полное сопротивление тела уменьшается, а величина тока, проходящего через тело человека, увеличивается. Однако снижение сопротивления тела сохраняется до частоты 1000 Гц. Дальнейшее повышение частоты тока сопровождается снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при частоте около 50 кГц. Но эти токи могут вызвать ожоги как при возникновении электрической дуги, так и при прохождении их непосредственно через тело человека.

Постоянный ток примерно в 4-5 раз безопаснее переменного тока частотой 50 Гц при относительно небольших напряжениях - до 250-300 В. При напряжении более 300 В опасность постоянного тока возрастает и при напряжении 400-600 В практически равна опасности переменного тока с частотой 50 Гц, а при напряжении более 600 В постоянный ток опаснее переменного.

Существенное влияние на исход действия электрического тока оказывает *путь прохождения тока в теле человека*: чем больше жизненно важных органов подвержено действию тока, тем тяжелее исход поражения. Наиболее вероятные и одновременно наиболее опасные пути протекания тока: рука-рука, рука-нога, нога-нога.

Индивидуальные особенности организма человека также влияют на исход поражения электрическим током. Установлено, что физически здоровые люди легче переносят электрические удары, нежели больные и слабые. Повышенной восприимчивостью к электрическому току отличаются лица, страдающие болезнями сердечно-сосудистой системы, органов внутренней секреции, легких, нервной системы и кожи.

На исход поражения значительно влияет длительность прохождения тока через организм человека. Чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного исхода.

Основным фактором, определяющим исход поражения, является сила (величина) электрического тока, проходящего через тело человека (табл. 13).

При фибрилляции сердца теряется централизованное управление работой сердца, возникает хаотическое сокращение его желудочков, нарушается его функция и прекращается кровообращение.

Возникновение электротравмы в результате воздействия электрического тока или электрической дуги может быть связано:

- с одновременным прикосновением человека к двум токоведущим изолированным частям (фазам, полюсам) электроустановок, находящихся под напряжением;
- с однофазным (однополюсным) прикосновением незащищенного от земли (основания) человека к незащищенным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, или к металлическому корпусу электрооборудования, оказавшегося под напряжением;
- с приближением на опасное расстояние человека к незащищенным от земли токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

Таблица 13

Характер воздействия тока на организм человека

Ток , мА	Переменный (50 Гц) ток	Постоянный ток
0,5-1,5	Начало ощущений: слабый зуд, пощипывание кожи	Не ощущается
8-10	Сильные боли и судороги во всей руке, включая предплечье. Руки трудно оторвать от электродов	Усиление ощущения нагрева кожи
10-15	Едва переносимые боли во всей руке. Руки невозможно оторвать от электродов	Значительный нагрев в месте контакта и в прилегающей области кожи
25-50	Очень сильная боль в руках и в груди. Дыхание крайне затруднено. При длительном воздействии может наступить остановка дыхания или потеря сознания	Сильный нагрев, боли и судороги в руках, При отрыве рук от электродов - сильные боли
50-80	Дыхание парализуется через несколько секунд, нарушается работа сердца. При длительном воздействии может наступить фибрилляция сердца	Очень сильный поверхностный и внутренний нагрев. Сильные боли в руке и в области груди. Руки невозможно оторвать от электродов
80-100	Фибрилляция сердца через 2-3 с., ещё через несколько секунд - остановка дыхания	То же действие, но выраженное сильнее. При длительном действии - остановка дыхания

Тяжесть электротравм, оцениваемая величиной тока, проходящего через тело человека, и напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы

включения человека в цепь; напряжения сети; схемы самой сети; режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от величины емкости токоведущих частей относительно земли.

Критерии безопасности в электроустановках. Основными критериями электробезопасности являются пороговые значения напряжения прикосновения и тока, соответствующие ответным реакциям организма человека. Они необходимы для расчета защитных мер и средств в электроустановках.

Для расчета и разработки защитных мер в электроустановках в качестве исходных нормируемых величин рекомендуются три первичных критерия электробезопасности:

- *пороговый осязаемый ток* - наименьшее значение осязаемого тока, при частоте 50 Гц в среднем он составляет 1 мА;

- *пороговый неотпускающий ток* - человек может самостоятельно освободиться от действия тока, величина тока 10 мА;

- *пороговый фибрилляционный ток* - ток 50 мА и более может вызвать фибрилляцию желудочков сердца.

Сила тока в 10 мА считается условно безопасной величиной, в 100 мА - смертельным током.

Нормативные данные о предельно допустимых уровнях (ПДУ) напряжений прикосновения и токов не должны превышать значений, приведенных в табл.14,15 / 21 /.

Таблица 14

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки

Ток	U, В	I, мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Примечания: 1. Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин и установлены исходя из реакции ощущения. 2. Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза.

Таблица 15

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и переменных токов 50 Гц при аварийном режиме электроустановки напряжением до 1000 В

Нормируемая	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с
-------------	--

величина	0,01 - 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
U, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
I, мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

11.3. Классификация электроустановок и производственных помещений

В основу классификации промышленных электроустановок положены номинальное напряжение электроустановки (до 1 кВ и выше 1 кВ) и режим её нейтрали. По режиму нейтрали трехфазные электрические сети подразделяются на сети с заземленной нейтралью и сети с изолированной нейтралью.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) все производственные помещения по опасности поражения электрическим током делятся на классы :

Помещения без повышенной опасности, характеризующиеся отсутствием признаков повышенной и особой опасности.

Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих факторов (признаков):

сырость, когда относительная влажность превышает 75%;

высокая температура воздуха, превышающая 35°C;

токопроводящая пыль;

токопроводящие полы;

возможность одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электроприемников, с другой стороны.

Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из условий:

особая сырость, когда относительная влажность воздуха близка к 100%;

химически активная среда, когда содержащиеся в воздухе пары действуют разрушающе на изоляцию и токоведущие части оборудования;

два или более признаков одновременно, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Данная классификация учитывается при выборе производственного оборудования, электроустройств, электроинструмента, допустимого напряжения, защитных приспособлений, а также при разработке мероприятий по профилактике электротравматизма.

Промышленные электроприемники по надежности электроснабжения делятся на категории (табл.16)

Электроприемники особой группы при внезапном отключении представляют наибольшую опасность для жизни людей. В целях повышения надежности их работы предусматривается третий независимый источник электроснабжения.

Таблица 16

Категории электроприемников по надежности электроснабжения

Категория	Надежность электроснабжения
Особая группа электроприемников	Бесперебойная работа электроприемника необходима для безаварийного останова производства в целях предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования
Электроприемники I категории	Электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса
Электроприемники II категории	Электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта
Электроприемники III категории	Все основные электроприемники, не подходящие под определения I и II категории.

11.4. Анализ электроопасности электрических сетей и установок напряжением до 1000 В

На практике возможно замыкание электрической цепи через тело человека, при прикосновении одновременно к двум проводам (двухфазное прикосновение) или к одному проводу (однофазное прикосновение) - рис. 15.

Двухфазное прикосновение к сети (рис. 15а) наиболее опасно. При этом ток, проходящий через тело человека по одному из самых опасных для организма путей (рука – рука), зависит от прилагаемого к телу человека напряжения, равного линейному напряжению сети U_L , а также от сопротивления тела человека:

$$I_{\text{ч}} = U_L / R_{\text{ч}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}} / R_{\text{ч}} \quad (22)$$

При двухфазном прикосновении ток, проходящий через тело человека, практически не зависит от режима нейтрали сети. Следовательно, двухфазное прикосновение одинаково опасно как в сети с изолированной, так и с заземленной нейтралью (при условии равенства линейных напряжений этих сетей). Случаи двухфазного прикосновения человека сравнительно редки и наблюдаются обычно в электроустановках напряжения до 1000 В.

Однофазное прикосновение (рис. 15б) наблюдается чаще, чем двухфазное, но менее опасно, поскольку напряжение, под которым оказывается человек, не превышает фазного, и соответственно сила тока, проходящего через человека,

меньше, чем при двухфазном прикосновении. Кроме того, сила тока в значительной степени зависит от режима нейтрали, сопротивления изоляции проводов относительно земли, сопротивления пола (или основания), на котором стоит человек, и от других факторов.

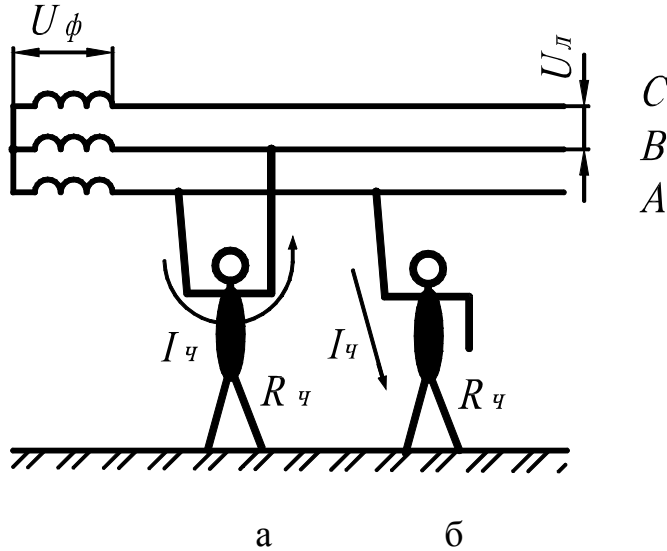


Рис. 15. Схема возможного прикосновения человека в сети переменного тока

а – двухфазное включение; б – однофазное включение; U_π , U_ϕ – линейное и фазное напряжение сети соответственно; $I_\text{ч}$ – ток, проходящий через тело человека; $R_\text{ч}$ – сопротивление тела человека; А, В, С – буквенное обозначение фаз электрической сети.

В сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме эксплуатации электрической сети (рис.16а.) образуется цепь поражения тело-пол-земля-сопротивление изоляции проводов. С учетом сопротивлений обуви $R_{об}$ и пола R_π , на котором стоит человек, ток, проходящий через тело человека, определяется зависимостью:

$$I_\text{ч} = U_\phi / (R_\text{ч} + R_{об} + R_\pi + R_{из}/3), \quad (24)$$

где $R_{из}$ – сопротивление изоляции проводов сети относительно земли, Ом.

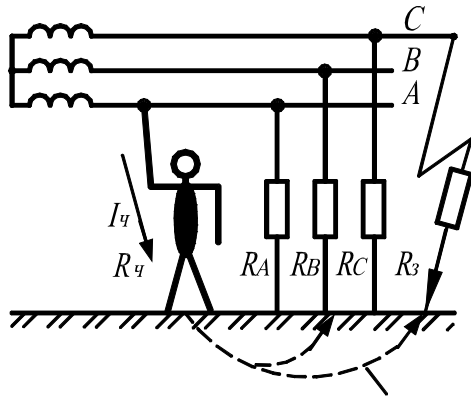
Сопротивление тела человека принято принимать равным $R_\text{ч} = 1000$ Ом. Электрическое сопротивление обуви зависит от материала подошвы, влажности помещения и приложенного напряжения (табл.17), а сопротивление опорной поверхности пола зависит от материала и степени его влажности (табл.18).

При наиболее неблагоприятном случае, когда человек имеет проводящую ток обувь и стоит на токопроводящем полу, т.е. при $R_{об} = 0$ и $R_\pi = 0$,

$$I_\text{ч} = U_\phi / (R_\text{ч} + R_{из}/3). \quad (25)$$

В этом случае, например, для сети с напряжением $U_\phi = 220$ В и исправной изоляции проводов $R_{из} = 500$ КОм, при $R_\text{ч} = 1000$ Ом, ток, проходящий через тело

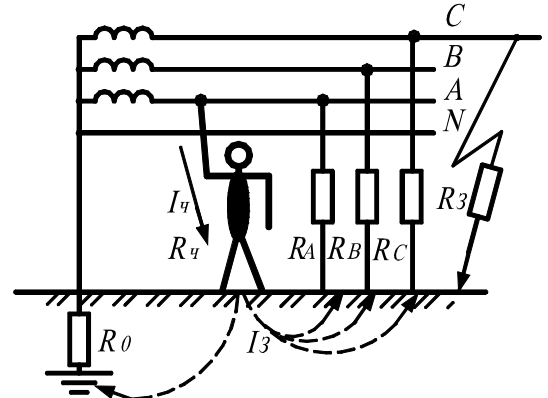
человека, $I_{\text{ч}} = 220/(1000+167000)=0,0013\text{A}=1,3 \text{ мА}$. Данное значение $I_{\text{ч}}$ вызывает слабый зуд (пороговый осязаемый ток) и не представляет опасности для человека (см. табл.13).



а I_{3-a} б $I_{3-б}$

Рис.16. Схема возможного прикосновения человека к трехфазной сети с изолированной нейтралью

а – нормальный режим; б – аварийный режим; I_3 – ток замыкания на землю (заземлитель); $R_{\text{из}}$, R_A , R_B , R_C – сопротивление изоляции проводов относительно земли, соответственно, общее и по каждой фазе А, В, С; R_3 – сопротивление растеканию тока заземляющего устройства



а б

Рис.17. Схема возможного прикосновения человека к трехфазной сети с заземленной нейтралью

а – нормальный режим; б – аварийный режим; R_0 – сопротивление рабочего заземления нейтрали; I_{3-a} ; $I_{3-б}$ – ток замыкания на землю, соответственно для режимов а) и б)

В сетях с заземленной нейтралью при нормальном режиме эксплуатации электрической сети (рис. 17а) при однофазном прикосновении человека к корпусу оборудования, находящегося под напряжением, образуется цепь поражения тело-пол-земля-заземление нейтрали.

Цепь, по которой проходит ток, состоит из сопротивления тела человека $R_{\text{ч}}$, его обуви $R_{\text{об}}$, пола $R_{\text{п}}$, а также сопротивления заземления нейтрали трансформатора R_0 . В этом случае сила тока определяется следующим образом:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_0), \quad (23)$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение сети, В.

Для случая, когда человек имеет проводящую ток обувь и стоит на токопроводящем полу, т.е. при $R_{\text{об}}=0$, $R_{\text{п}}=0$, $R_{\text{ч}}=1000$, $R_0 \leq 10$ Ом и $U_{\text{ф}}=220$ В, величина $I_{\text{ч}} = 220/(1000+10) = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА}$. Данное значение $I_{\text{ч}}$ вызывает фибрилляцию сердца и остановку дыхания (пороговый фибрилляционный ток), (см. табл.13), что смертельно опасно для человека.

Следовательно, при равных условиях прикосновение человека к одной из фаз сети с изолированной нейтралью менее опасно, чем в сети с заземленной нейтралью.

В аварийном режиме эксплуатации электрической сети один из проводов может оказаться замкнутым на землю (рис.16 и 17). Ток, проходящий через человека, прикоснувшегося к исправной фазе, определяется зависимостью:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{пр}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{з}}) \quad (26)$$

Замыкание одной из фазы на землю резко повышает опасность однофазного прикосновения, т.к. в этом случае человек попадает под напряжение $U_{\text{пр}} \approx \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}$, близкое к линейному.

Таблица 17

Электрическое сопротивление обуви

Материал подошвы	Сопротивление обуви, кОм, при напряжении, В			
	Помещение сухое		Помещение сырое и влажное	
	220	выше 220	220	выше 220
Кожа	100	50	0,5	0,2
Кожимит	50	25	0,7	0,5
Резина	500	50	1,5	1

Таблица 18

Электрическое сопротивление опорной поверхности ног на полу

Материал пола	Сопротивление опорной поверхности ног на полу, кОм		
	сухом	влажном	мокроем
Бетон	2000	0,9	0,1
Дерево	30	3	0,3
Линолеум	1500	50	4
Метлахская плитка	25	2	0,3

Шаговое напряжение. Кроме рассмотренных выше случаев возможное включение человека в электрическую сеть с напряжением прикосновения при так называемом шаговом напряжении, которое возникает в результате появления потенциалов ϕ_x на поверхности земли, обусловлено растеканием тока замыкания $I_{\text{з}}$ на землю.

Причиной появления этих потенциалов является замыкание токоведущих частей на заземленный корпус, при падении электрического провода на землю и т.п. Условия поражения человека напряжением прикосновения и напряжением шага различны, так как ток протекает по разным

путям: через руку - грудную клетку - ногу – от напряжения прикосновения и по нижней петле через ноги человека – от напряжения шага.

Величина потенциала и характер растекания тока на поверхности земли зависят в основном от электрических свойств и однородности грунта, формы заземлителей и силы тока. На рис.18 показано распределение потенциалов в зоне растекания тока. Для упрощения анализа и получения расчетных зависимостей делаются допущения, что ток растекается через одиночный заземлитель, грунт изотропный и удельное сопротивление грунта ρ во много раз превышает удельное сопротивление материала заземлителя.

Распределение потенциала на поверхности земли φ_x может быть определено по выражению

$$\varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi \cdot x}, \quad (27)$$

где I_3 -ток замыкания на землю.

Для принятых допущений потенциал на поверхности грунта распределяется по закону гиперболы. Напряжение прикосновения – это напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (корпус) при одновременном прикосновении к ним человека. Численно оно равно разности потенциалов корпуса φ_3 и точек почвы, в которых находятся ноги человека φ_x , т.е.

$$U_{пр} = \varphi_3 - \varphi_x. \quad (28)$$

Напряжение шага – это напряжение между точками земли (А и Б), имеющими разные потенциалы на расстоянии шага человека (в расчетах принимается $a=0,8$ м).

Численно напряжение шага равно

$$U_{ш} = \varphi_A - \varphi_B, \quad (29)$$

где $\varphi_A = \varphi_x$ и $\varphi_B = \varphi_{x+a}$.

Подставляя ранее полученные значения для φ_x и φ_{x+a} , будем иметь

$$U_{ш} = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a} \right) = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left(\frac{a}{x^2 + ax} \right), \quad (30)$$

или

$$U_{ш} = U_3 \left(\frac{ax}{x^2 + ax} \right).$$

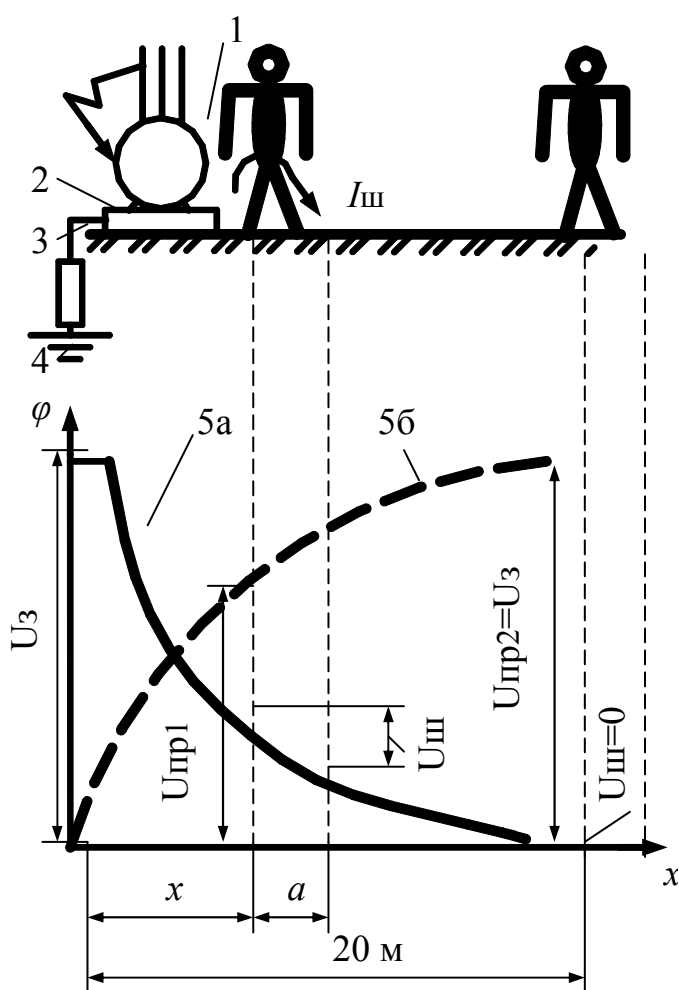


Рис.18. Распределение потенциалов в зоне растекания тока при замыкании фазы на нетоковедущие части оборудования или землю $R_{зз}$ – сопротивление защитного заземления; φ – потенциал корпуса относительно земли; X – расстояние от места замыкания до рассматриваемой точки; A – длина шага ($a=80$ см); $U_{ш}$ – напряжение шага; $U_з$ – напряжение на заземлителе; 1 – электроприемник (заземленное электрооборудование); 2 – заземляющий зажим; 3 – заземляющий проводник; 4 – заземляющее устройство; 5 – кривые распределения: а- потенциалов; б-напряжения прикосновения.

Напряжение шага максимально у заземлителя и уменьшается по мере удаления от него. Вне поля растекания (x более 20 м) оно равно нулю, а также в случае, если обе ноги человека находятся на эквипотенциальной линии. Напряжение шага также увеличивается с увеличением ширины шага.

11.5. Меры защиты при эксплуатации электроустановок

В зависимости от вида электроустановки, номинального напряжения, режима нейтрали, условий среды помещения необходимо применять определенный комплекс защитных мер. Для обеспечения электробезопасности применяют отдельно или в сочетании один с другим следующие технические

способы и средства защиты: применение малых напряжений; электрическое разделение сетей; контроль и профилактика качества изоляции; защита от случайного прикосновения к токоведущим частям; защитное заземление; зануление; защитное отключение; применение электрозащитных средств.

Применение защитных мер регламентируется Правилами устройств электроустановок (ПУЭ), Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ), Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ) / 23, 24, 26 /

Применение малых напряжений. Малое напряжение – номинальное напряжение не более 42 В. Если номинальное напряжение электроустановки не превышает длительно допустимой величины напряжения прикосновения, то даже одновременный контакт человека с токоведущими частями разных фаз или полюсов безопасен.

В особо опасных (по опасности поражения электрическим током) и взрывоопасных помещениях для повышения безопасности применяются малые напряжения 12 и 36 В.

В помещениях *с повышенной опасностью* для переносных электроприемников рекомендуется номинальное напряжение 36 В. В особо опасных помещениях для ручного электроинструмента устанавливается напряжение 36 В, а для ручных светильников – 12 В.

При сопротивлении тела человека 1 кОм ток, проходящий через тело человека с напряжением 36 В, равен $I_{\text{ч}} = 36$ мА, а с 12 В - $I_{\text{ч}} = 12$ мА.

При значении $I_{\text{ч}} = 36$ мА (пороговый неотпускающий ток) невозможно оторвать руки от электродов. При длительном воздействии может наступить остановка дыхания или ослабление сердечной деятельности с потерей сознания (см. табл.13), что чрезвычайно опасно для человека. Для $I_{\text{ч}} = 12$ мА (пороговый неотпускающий ток) сильные боли и судороги во всей руке, включая предплечье, руки трудно оторвать от электродов.

Ввиду того, что одним применением малых напряжений не достигается достаточная степень безопасности, дополнительно применяются другие меры защиты – двойная изоляция, защита от случайных прикосновений и др.

Электрическое разделение сетей. Разветвленная сеть большой протяженности имеет значительную емкость и небольшое активное сопротивление изоляции относительно земли. Ток замыкания на землю в такой сети может достигать значительной величины и представлять опасность для человека. Обычно электрическое разделение сетей осуществляется путем подключения отдельных электроприемников через разделительный трансформатор, питающийся от основной разветвленной сети.

Поскольку основная цель этой защитной меры – уменьшить величину тока замыкания на землю за счет высоких сопротивлений фаз относительно

земли, то не допускается заземление нейтрали или одного из выводов вторичной обмотки разделительного трансформатора или преобразователя.

Изоляция токоведущих частей. Контроль и профилактика поврежденной изоляции. Контроль изоляции – измерение её активного или омического сопротивления для обнаружения дефектов и предупреждения замыканий на землю и коротких замыканий. Чтобы предотвратить замыкания электрической цепи на землю и другие повреждения изоляции необходимо проводить периодические испытания. Такие испытания качества изоляции приводят под повышенным напряжением и измерением сопротивления изоляции.

При испытаниях повышенным напряжением дефекты изоляции обнаруживаются в результате пробоя и последующего прожигания изоляции. Выявленные дефекты устраняются, и затем проводятся повторно испытания исправленного оборудования. Сопротивление изоляции измеряется на отключенной установке. При таком измерении можно определить сопротивление изоляции отдельных участков сети, электрических аппаратов, машин и т.п. Сопротивление изоляции каждого участка в сетях напряжением до 1000 В должно быть не ниже 0,5 МОм / 17 /.

Защита от прикосновения к токоведущим частям. Прикосновение к токоведущим частям, работающим с напряжением до 1000 В, опасно (см. п. 11.4), а при напряжении выше 1000 В опасным может быть даже приближение к токоведущим частям. Чтобы исключить возможность прикосновения или опасного приближения к изолированным токоведущим частям, необходимо обеспечить их недоступность посредством ограждения, блокировок и расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте /26/.

Ограждения применяются сплошные и сетчатые с размером сетки 25x25 мм. Сплошные ограждения изготавливают в виде кожухов и крышек. Блокировки применяются в рубильниках, пускателях, автоматических выключателях и других электрических аппаратах.

Блокировки, применяемые в электроустановках, по принципу действия разделяются на электрические и механические. Электрические блокировки осуществляют разрыв цепи специальными контактами, которые устанавливаются на дверях ограждений, крышках и дверцах кожухов. Механические блокировки не позволяют открыть аппарат (снять крышку), когда он включен, и, наоборот, включить аппарат при открытой (снятой) крышке.

Расположение токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте позволяет обеспечивать безопасность без ограждений. При этом следует учитывать возможность случайного прикосновения к токоведущим частям посредством длинных предметов, которые человек может

держат в руках. Если к токоведущим частям, расположенным на высоте, возможно прикосновение с мест, редко посещаемых людьми (крыш, площадок и т.п.), в этих местах должны быть установлены ограждения или приняты другие меры безопасности.

Защитное заземление применяют для устранения опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования, т.е. при замыкании фазы на корпус (рис.19). Величина тока, проходящего через тело человека, определяется значением сопротивления защитного заземления и рассчитывается по формуле

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{\left(R_{\text{ч}} + \frac{r}{3} + \frac{R_{\text{ч}} \cdot r}{3R_{\text{зз}}} \right)}, \quad (31)$$

где $R_{\text{зз}}$ – сопротивление защитного заземления, Ом.

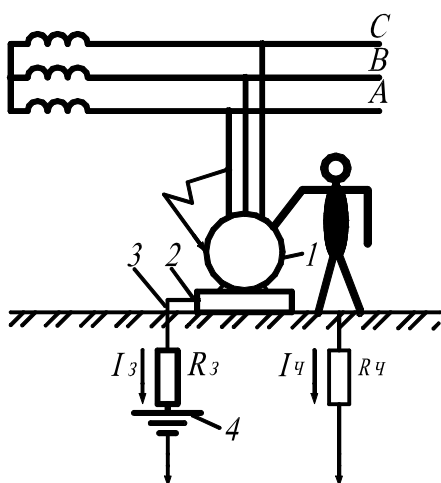


Рис. 19. Схема защитного заземления электрооборудования
1, 2, 3, 4 – см.рис.18.

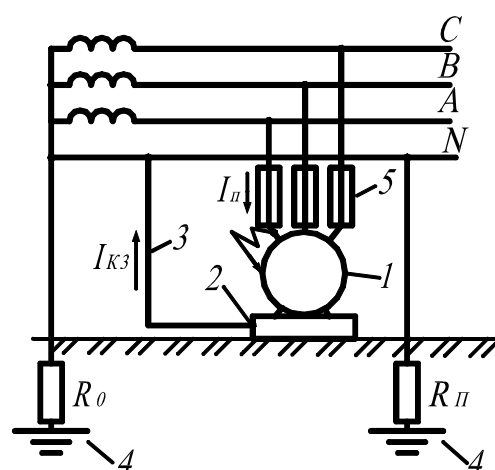


Рис.20. Схема защитного зануления электрооборудования
 $I_{\text{п}}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя; $I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания; $R_{\text{п}}$ – сопротивление повторного заземлителя; 1, 2, 4 – см.рис.18.; 3-зануляющий провод; 5- плавкие предохранители

Следует иметь в виду, что при прохождении тока через заземляющее устройство или при обрыве провода и замыкании его на землю на поверхности

земли появляется потенциал, который может представлять опасность для человека в виде шагового напряжения.

Защитному заземлению подлежат электроустановки:

- при напряжении переменного и постоянного тока 500 В и выше – во всех случаях;

- при напряжении 36 В и более переменного тока и 110 В и более постоянного тока – в помещениях с повышенной электроопасностью, особо электроопасных и в наружных установках.

Согласно ПУЭ устанавливают следующие наибольшие значения сопротивлений заземляющих устройств: для установок до 1000 В во всех случаях

4 Ом (допускается 10 Ом при мощности генераторов и трансформаторов 100 кВА и менее); для установок выше 1000 В – 0,5 Ом / 17, 20 /.

Защитное заземление следует отличать от так называемого *рабочего заземления* – преднамеренного соединения с землей отдельных точек электрической сети (например, нейтральной точки трансформатора или генератора и др.), необходимого для обеспечения надлежащей работы установки в нормальных и аварийных условиях.

Защитное зануление – присоединение нетоковедущих металлических частей электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением, к неоднократно заземленному нулевому проводу питающей сети (рис.20).

Принцип действия зануления – превращение пробоя на корпус в однофазное короткое замыкание между фазным и нулевым проводами. При этом в результате протекания через токовую защиту большого тока обеспечивается быстрое отключение поврежденного участка от сети. Токовой защитой служат: 1) плавкие предохранители; 2) автоматы, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания; 3) магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой; 4) контакторы в сочетании с тепловым реле, осуществляющие защиту от перегрузки.

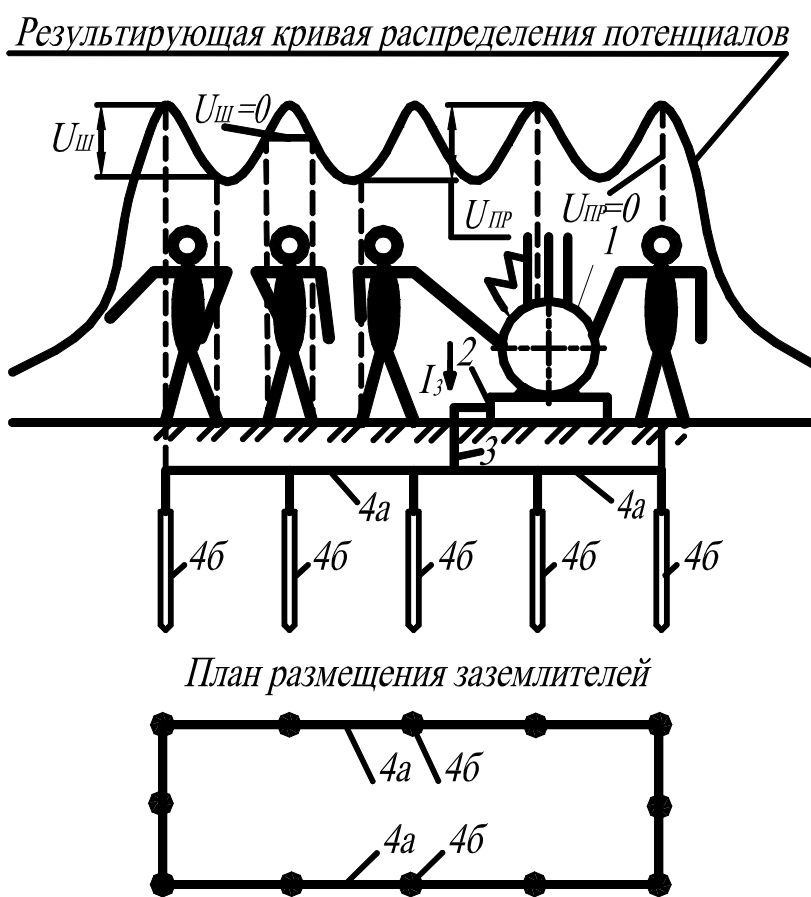
Согласно ПУЭ, ток однофазного короткого замыкания должен превышать не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя. При защите сети автоматическими выключателями кратность тока для автоматов с номинальным током до 100 А следует принимать равной 1,4, для прочих – 1,25.

Сопротивление заземляющих устройств, к которым присоединены нейтрали трансформаторов или генераторов, должно быть не более 4 Ом, сопротивление повторных заземлений – не более 10 Ом /20/.

Выносное и контурное заземляющее устройства. Заземляющим устройством называют совокупность заземлителя и проводника, соединяющего заземляющие части электроустановок с заземлителем. Различают два типа заземляющих устройств: выносные (или сосредоточенные) и контурные (или распределенные).

Выносное заземление делают на некотором расстоянии от заземляемых объектов. При этом производственные помещения с находящимися в них заземленными электроустановками оказываются вне зоны растекания тока в земле. Если выносное заземление расположено от заземляемых объектов на расстоянии 20 м и более, то можно считать, что пол в производственном помещении обладает нулевым потенциалом. Поэтому человек, стоящий на полу и касающийся металлического заземленного корпуса электроустановки, когда по заземляющему устройству проходит ток замыкания на землю, оказывается под полным напряжением относительно земли. При выполнении выносного заземляющего устройства величина поражающего напряжения будет зависеть от величины сопротивления растеканию тока заземляющего устройства R_z и величины тока замыкания на землю I_3 .

Более эффективным и надежным по сравнению с выносным заземляющим устройством является контурное (рис.21), когда заземлители (4, 5) распо-



лагаются по контуру вокруг заземляемого электрооборудования. При этом производственное помещение с заземленными электроустановками оказывается размещенным внутри контура заземления. Благодаря близкому расположению заземлителей (5) относительно друг друга (3-6 м) и наложению электрического поля одного заземлителя на поле другого заземлителя, потенциалы точек пола или земли

Рис.21. Схема контурного заземления электрооборудования
1, 2, 3, – см. рис.18.; 4 – элементы заземляющего устройства: а - соединительная полоса; б- одиночный стержневой заземлитель

значительно повышаются, и в связи с этим напряжение между заземленными металлическими частями и полом

существенно уменьшается. Иногда для лучшего выравнивания потенциалов внутри контура заземления дополнительно прокладывают горизонтальные полосы. Полученная результирующая кривая распределения потенциалов (5) (рис.21) позволяет определить значения $U_{пр}$ и $U_{ш}$ в рассматриваемых точках нахождения человека на опорной поверхности.

11.6 Выбор и защита электрооборудования от воздействия окружающей среды

В выпускаемом промышленностью электрооборудовании учитываются климатические условия и производственные факторы, для работы в которых оно предназначено. Это выражается в конструктивных исполнениях деталей оборудования (оболочек, изоляции, покрытий и т.д.), обеспечивающих необходимую защиту его от вредного влияния окружающей среды. Климатические условия работы электрооборудования характеризуются в основном температурой, влажностью воздуха и пределами их изменения во времени. Полные характеристики климатических условий указываются в ГОСТ 15150-69. Условные обозначения «климатической защиты» и степеней защиты наносятся на табличку изделия с паспортными данными.

«Климатическая защита» охватывает широкий комплекс мер, в том числе и защиту от коррозии, обеспечивающих установленный для электротехнических изделий срок службы и надежную работу в том или ином климатическом районе. Все электрические машины и другие электротехнические изделия конструируются и выпускаются промышленностью в климатических исполнениях, предназначенных для работы в определенных макроклиматических районах на территории РФ и категории изделия в зависимости от места его установки и эксплуатации (табл. 20). Характеристика климатических исполнений имеет условные буквенные обозначения (русские и латинские) и цифры, указывающие на категорию размещения электрооборудования. Буквенные обозначения исполнения для РФ следующие: У (N) – умеренный (микrokлимат); ХЛ (F)– холодный; УХЛ (NF) – умеренный и холодный; ТВ (ТН) – влажный тропический и т.д. / 25 /.

Если для какого-либо электрооборудования указана категория размещения при эксплуатации 1, или 2, или 3, то оно может эксплуатироваться в менее жестких категориях, т.е. 2, или 3, или 4. Электроустановки, размещенные под навесами (категория 2), рассматриваются как наружные. Помещения, в которых могут эксплуатироваться изделия 3, 4 и 5-й категорий, относятся к закрытым или внутренним. Например, УХЛ 2 означает, что оборудование может эксплуатироваться в умеренном и холодном микроклимате, при температуре воздуха от +40° до –40° С и расположенное под навесом.

Закрытые помещения согласно ПУЭ делятся на электротехнические помещения, сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные, с химически активной и органической средой, пожароопасные и взрывоопасные помещения и установки (зоны).

В целях правильного выбора конструктивных типов электрооборудования применительно к условиям эксплуатации необходимо руководствоваться

Таблица 20

Характеристика категорий электрооборудования в зависимости от места размещения его при эксплуатации

Обозначение категорий	Характеристика категорий электрооборудования, эксплуатирующегося
1	На открытом воздухе
2	В помещениях, колебания температуры и влажности в которых не существенно отличаются от колебаний на открытом воздухе (под навесами, в кузовах, палатках, металлических кожухах без теплоизоляции)
3	В помещениях с естественной вентиляцией без искусственного климата
4	В отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых помещениях
5	В помещениях с повышенной влажностью где возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке

системой обозначений принятой международной электротехнической комиссией (МЭК). В соответствии с которой и ГОСТ 14254-80 аппараты, машины и светильники характеризуются соответствующими степенями защиты от попадания внутрь оболочек посторонних тел, пыли и воды (табл. 21).

Условные обозначения степеней защиты состоят из двух букв IP (первые буквы слов International Protection), указывающих на международную систему обозначений, и двух цифр. Первая цифра означает степень защиты от

соприкосновения и попадания посторонних тел; вторая цифра - от проникновения воды.

Если для изделия нет необходимости в одном виде защиты, допускается в условном обозначении проставлять знак X вместо обозначения того вида защиты, который в данном изделии не требуется или испытания которого не проводятся, например, IP2X.

Для светильников в соответствии с ГОСТ 138282-74 помимо степеней защиты от пыли 2,5 и 6 вводятся дополнительные следующие обозначения:

2'- степень с характеристикой для степени 2 (табл. 21), но при которой светильник имеет неуплотненную светопропускающую оболочку; 5'- степень с характеристикой 5, но колба лампы при этом не защищена от воздействия пыли; 6'- степень с характеристикой 6, но колба лампы не защищена от пыли. При этих обозначениях буквенный индекс (IP) не указывается, например, 5'4 вместо IP54.

Таблица 21

Характеристика степеней защиты оболочек электрооборудования
напряжением до 1000 В

Обозначение степени защиты	Характеристика степеней защиты	
	Защита от соприкосновения с частями, движущимися или токоведущими, и попадания в оболочку твердых посторонних тел	Защита от проникновения и вредного действия воды на оборудование внутри оболочки
0	Отсутствует	Отсутствует
1	От преднамеренного доступа внутрь оболочки и попадания предметов диаметром не менее 50мм	От вертикально падающих конденсирующихся капель
2	От соприкосновения пальцами и попадания предметов диаметром не менее 12 мм	От капель, падающих на оболочку, наклоненную под углом не более 15 ⁰ к вертикали.
3	От соприкосновения инструментом или проволокой и попадания предметов диаметром не менее 2,5 мм	От дождя, падающего на оболочку наклоненную под углом не более 60 ⁰ к вертикали
4	То же диаметром не менее 1 мм	От брызг в любом направлении
5	Полная защита от соприкосновения и вредных отложений пыли	От струй, выбрасываемых на оболочку через наконечник в любом направлении, при условиях, указанных в соответствующих ГОСТ или ТУ
6	Полная защита от соприкосновения и проникновения пыли	От воздействий, характерных для палубы корабля. При условиях по стандартам или ТУ
7, 8	-	От воды при полном погружении по стандартам или ТУ

Библиографический список

1. Смирнов Г.Г., Толщинский А.Р., Кондратьева Т.Ф. Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств.- Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1988. - 303 с.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. ПБ 10-115-96. - М.: НПО ОБТ. 1996. - 242 с..
3. Эксплуатация и ремонт технологических трубопроводов под давлением до 10 МПа. РД 38.13.004-86: Нормат-производ. изд. Под ред. А.Е.Фолиянца. - М.: Химия, 1988. - 288 с.
4. Сухотина А.М., Зотиков В.С. Химическое сопротивление материалов. - Л.: Химия, 1975 - 408 с.
5. Общетехнический справочник /Под ред. Е.А.Скорородова. - М.: Машиностроение, 1982. - 415 с.
6. Малахов А. И., Андреев Н.Х. Конструкционные материалы химической аппаратуры. – М.: Химия, 1978. – 224 с.
7. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии - М.: Стройиздат, 1986.
8. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов (ПБ 03-108-96). М., НПО ОБТ.
9. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. Л., 1991. - 88 с.
10. Арматура и предохранительные устройства трубопроводов и химических аппаратов/ Сост. Гимранов Ф.М., Бреднев В.М. – Казань: КХТИ, 1980. – 32 с.
11. Гуревич Д.Ф., Шпаков О.Н., Вишнев Ю.Н. Арматура химических установок. - Л.: Химия, 1979. - 320 с.
12. Водяник В.И. Предохранительные устройства для защиты химического оборудования. - М.: Химия, 1975.
13. Предохранительные мембраны: Справ. пособие /Водяник В.И., Малахов Н.Н., Полтавский В.Т., Шелюк И.П. - М.: Химия, 1982. - 144 с.
14. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник /С.В.Белов, О.Ф.Козьяков, О.Ф.Патолин и др.; Под ред. С.В.Белова. - М.: Машиностроение, 1989. - 368 с.
15. Чижова М.А., Назмутдинова Ф.Г., Нугаева Н.К., Азизов Б.М. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. Ч. 1. /Казан.гос.технол.ун-т; Казань, 2001. – 132 с.
16. Борьба с вибрацией и шумом: Метод. указания сост. Гимранов Ф.М., Бреднев В.М.: Казань, КХТИ, 1981. – 18 с.
17. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб. пособие для вузов / П.П. Кукин, В.Л. Ланин, Е.А. Подгорных и др. –М.: Высш. шк., 1999.-318с.: ил.
18. ГОСТ 12.1.009-76 ССБТ Электробезопасность. Термины и определения.

19. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
20. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
21. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений и токов.
22. ГОСТ 14254-80 Изделия электротехнические. Оболочки. Степени защиты. Обозначения. Методы испытаний.
23. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 288 с.
24. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: Энергоатомиздат, 1994. 140 с.
25. Карвовский Г.А. Электрооборудование и окружающая среда: Выбор и защита.-М.: Энергоатомиздат, 1984.-232 с.,ил.
26. ГОСТ 12.3.047-98 Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
27. Кораблев В.П. Электробезопасность на предприятиях химической промышленности: Справ. изд. – М.: Химия, 1991.-240с.: ил.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Эксплуатационные параметры оборудования и трубопроводов . . .	4
2. Оценка эксплуатационной надежности оборудования и методы повышения надежности объектов	5
3. Обеспечение герметичности технологического оборудования	8
3.1. Герметизация соединения элементов частей аппаратов и трубопроводов	9
3.2. Испытание оборудования на герметичность	13
4. Защита оборудования от коррозии	15
5. Безопасность эксплуатации сосудов и аппаратов, работающих под давлением	17
6. Специфические требования безопасности к устройству и эксплуатации баллонов	21
7. Требования безопасности к устройству и эксплуатации технологических трубопроводов	23
7.1. Арматура химических установок	32
8. Защита аппаратов от превышения давления	35
8.1. Классификация предохранительных клапанов	36
8.2. Расчет предохранительных клапанов	39
8.3. Требования к установке и эксплуатации предохранительных клапанов	42
8.4. Предохранительные мембраны. Типы мембран, требования к их материалам	43
8.5. Расчет предохранительных мембран	46
8.6. Особенности установки и эксплуатации предохранительных мембран	48
8.7. Совместное применение предохранительных клапанов и мембран	49
9. Защитные устройства	49
10. Обеспечение защиты от производственных вибраций	52
11. Основы электробезопасности	57
11.1. Причины электротравм и действие электрического тока на организм человека	57
11.2. Факторы, влияющие на тяжесть поражения электрическим током	61
11.3. Классификация электроустановок и производственных помещений	66
11.4. Анализ электроопасности электрических сетей и установок напряжением до 1000 В	67

11.5. Меры защиты при эксплуатации электроустановок	72
11.6 Выбор и защита электрооборудования от воздействия окружающей среды	78
Библиографический список	81

Редактор Л.И.Жадан

Корректор Ю.Е.Стрыхарь

Лицензия № 020404 от 6.03.97 г.

Подписано в печать

Бумага писчая

5,25 уч.-изд.л.

Печать RISO

Тираж 150 экз.

Формат 60x84 1/16

4,88 усл.печ.л.

Заказ 91 <<С>> 62

Издательство Казанского государственного технологического
университета

Офсетная лаборатория Казанского государственного
технологического университета

420015, Казань, К.Маркса, 68