

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

Расчет предохранительных и защитных устройств

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

по дисциплине «Расчет и проектирование систем техносферной безопасности» для студентов направления подготовки 20.03.01 (240800.62) «Техносферная безопасность» всех форм обучения

Нижний Новгород 2015

УДК 676.08

Гейко И.В. Расчет предохранительных и защитных устройств. Методические рекомендации к практическим занятиям. – Нижний Новгород: ФГБОУ НГТУ, 2015. – 31 с., ил.

Утверждено на заседании кафедры “Производственная безопасность, экология и химия”, протокол № 2 от 22.09.15 г.

© Гейко И.В., 2015
© ФГБОУ ВПО «Нижегородский
государственный технический
университет», 2015

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях кратко изложены методы расчета предохранительных и защитных устройств для работы на сосудах, аппаратах и другом оборудовании защищающих их от превышения установленного рабочего давления. Приведены основные теоретические положения, варианты заданий и необходимые справочные данные.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений направления 20.03.01 – “Техносферная безопасность”, изучающих дисциплину “Расчет и проектирование систем техносферной безопасности”, а также студентов, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности» всех форм обучения.

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. долларов (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.

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. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОСУДОВ И АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

На предприятиях многих отраслей промышленности широко применяются аппараты, сосуды и баллоны, работающие под давлением (далее по тексту вместо "аппараты, сосуды, баллоны" принят термин "сосуды"). Основная опасность 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 МПа ($0,7\text{ кгс/см}^2$); баллоны, предназначенные для перевозки и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа, сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115°C или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа.

Правила не распространяются на приборы парового и водяного отопления; сосуды вместимостью не выше $0,025\text{ м}^3$, для которых производство 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 Ростехнадзора, 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 сосуда, работающего 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 Ростехнадзора [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 Ростехнадзора 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°C, 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°C, 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 Ростехнадзора.

Разрешение на пуск сосуда выдается инспектором Ростехнадзора 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°C. Величина пробного давления определяется по формуле, МПа

$$p_{пр} = K \cdot p \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t}, \quad (4)$$

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°C 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 Ростехнадзора 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.

3. 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 Ростехнадзора [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	$\leq 0,3$	Св. 0,3 до 6,0	Св. 6,0
p_1 , МПа	$p_p+0,05$	$1,15p_p$	$1,1p_p$

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_r 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.

3.1. Классификация предохранительных клапанов

Существующие конструкции предохранительных клапанов можно классифицировать по нескольким признакам [1, 3, 4].

По способу создания нагрузки различают пружинные и рычажно-грузовые клапаны.

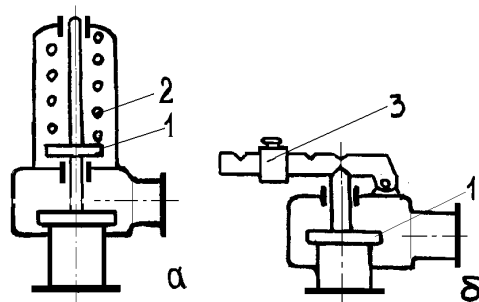


Рис. 1. Основные типы предохранительных клапанов:

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

В пружинных предохранительных клапанах (рис. 1, *a*) 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 Ростехнадзора). В рычажно-грузовых предохранительных

клапанах (рис. 1, *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.

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. 2).

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.

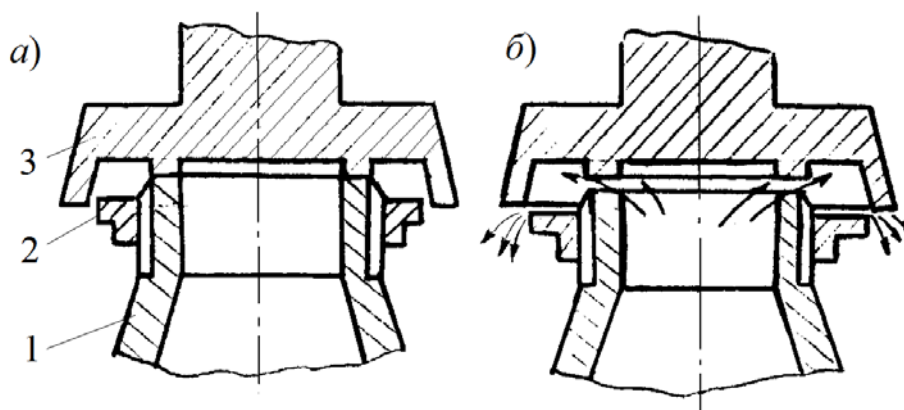


Рис. 2. Запорный орган полноподъемного клапана в закрытом (а) и открытом (б) положении:

1 – сопло; 2 – регулирующая втулка; 3 –золотник

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

Клапаны открытого типа выпускают рабочую среду непосредственно в атмосферу, поэтому их применяют в нетоксичных средах. Клапаны закрытого типа имеют патрубков 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 1 [1, 3, 4].

Таблица 1

Технические данные предохранительных клапанов

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

Обозначаются клапаны в соответствии с ГОСТ 9789-75 и ГОСТ 12.2.085-82.

Например, СППК4-16-50, где цифра 4 обозначает серию, 16 - условное давление на которое рассчитан клапан в кг/см², 50 – условный диаметр входного отверстия клапана в мм.

3.2. 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:

$$G_a = \frac{MV}{RT_{cp}} \frac{dp}{d\tau}, \quad (1)$$

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, 5, 6].

При установке предохранительных клапанов в сосудах их количество, размеры и пропускная способность должны быть выбраны таким образом, что бы в сосуде не могло образовываться давление, превышающее рабочее более чем на 50 кПа для сосудов с давлением до 300 кПа; на 15% – для сосудов с давлением от 300 кПа до 6 МПа, и на 10% – для сосудов с давлением свыше 6 МПа.

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

$$\text{для газов и паров} \quad G = 3,16B\alpha_1 F \sqrt{(p_1 + 0,1)\rho}, \quad \text{кг/ч}, \quad (2)$$

$$\text{для жидких сред} \quad G = 5,03\alpha_2 F \sqrt{(p_1 - p_2)\rho}, \quad \text{кг/ч}, \quad (3)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты расхода принимаются по паспортным данным выбранных марок клапанов, допускается принимать $\alpha_1 = 0,4 \div 0,7$, $\alpha_2 = 0,03 \div 0,07$ (приложение Б); F – наименьшая площадь сечения проточной части седла клапана, мм²; 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 (2) и (3).

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

$$\rho_2 = \frac{10^6 (p_1 + 0,1)}{B_1 R (t_1 + 273)}, \quad (4)$$

где R – газовая постоянная, Дж/кг °С; B_1 – коэффициент сжимаемости реального газа.

Значения коэффициентов B , B_1 и газовой постоянной R можно рассчитать по формулам 3, 4 или выбрать из приведённых значений в таблицах 2, 3, 4.

Таблица 2

Значения коэффициентов k , B , R для газов

Газы	k	B	R , Дж/ (кг °С)
	при температуре 0 °С и давлении 0,1 МПа		
Азот	1,40	0,770	298
Аммиак	1,32	0,757	490
Аргон	1,67	0,825	207
Ацетилен	1,23	0,745	320
Бутан	1,10	0,710	143
Водород	1,41	0,772	4120
Водород (хлористый)	1,42	0,774	-
Воздух	1,40	0,770	287
Гелий	1,66	0,820	2080
Дифтордихлорметан	1,14	0,720	68,6
Кислород	1,40	0,770	260
Метан	1,30	0,755	515
Метил (хлористый)	1,20	0,730	165
Оксид углерода	1,40	0,770	298
Пропан	1,14	0,720	189
Сероводород	1,30	0,755	244
Сернистый ангидрид	1,40	0,770	130
Углекислый газ	1,31	0,756	189
Хлор	1,34	0,762	118
Этан	1,22	0,744	277
Этилен	1,24	0,750	296

Примечание k – показатель адиабаты

Таблица 3

Значения коэффициента B для газов

$p_2 + 0,1$	k							
$p_1 + 0,1$	1,135	1,2	1,3	1,4	1,66	2	2,5	3
0,100	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,865	0,930	0,960
0,200	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,865	0,930	0,960
0,300	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,865	0,930	0,960
0,354	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,865	0,930	0,960
0,393	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,865	0,930	0,959
0,400	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,865	0,929	0,957
0,445	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,865	0,928	0,950

продолжение табл. 3

$p_2 + 0,1$	k							
$p_1 + 0,1$	1,135	1,2	1,3	1,4	1,66	2	2,5	3
0,450	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,864	0,925	0,942
0,488	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,863	0,920	0,935
0,500	0,715	0,730	0,755	0,770	0,819	0,860	0,919	0,933
0,528	0,715	0,730	0,755	0,770	0,819	0,853	0,912	0,925
0,546	0,715	0,730	0,755	0,769	0,818	0,850	0,902	0,915
0,550	0,715	0,730	0,754	0,768	0,816	0,845	0,900	0,914
0,564	0,715	0,730	0,753	0,765	0,815	0,842	0,899	0,911
0,577	0,715	0,729	0,752	0,764	0,810	0,840	0,898	0,900
0,600	0,714	0,725	0,750	0,762	0,805	0,835	0,877	0,880
0,650	0,701	0,712	0,732	0,748	0,773	0,800	0,848	0,850
0,700	0,685	0,693	0,713	0,720	0,745	0,775	0,810	0,815
0,750	0,650	0,655	0,674	0,678	0,696	0,718	0,716	0,765
0,800	0,610	0,613	0,625	0,630	0,655	0,670	0,700	0,705
0,850	0,548	0,550	0,558	0,560	0,572	0,598	0,615	0,620
0,900	0,465	0,468	0,474	0,475	0,482	0,502	0,520	0,525
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4

Значения коэффициента B_1 для газов

Газ	$p_1 + 0,1$, МПа	Температура t_1 , °С			
		0	50	100	200
Азот и воздух	0	1	1	1	1
	10	0,98	1,02	1,04	1,05
	20	1,03	1,08	1,09	1,1
	30	1,13	1,06	1,07	1,18
	40	1,27	1,26	1,25	1,24
	100	2,05	1,94	1,08	1,65
Водород	0	1	1	1	1
	100	1,71	1,6	1,52	1,43
Кислород	0	1	1	1	1
	10	0,92	0,97	1	-
	20	0,91	-	1,02	1,06
	30	0,97	-	1,07	1,1
	40	1,07	-	1,12	1,14
	50	1,17	-	1,2	1,19
	80	1,53	-	1,44	1,37
	100	1,77	-	1,59	-
Метан	0	1	1	1	1
	10	0,78	0,9	0,96	1
	15	0,73	0,88	0,95	1,01
	20	0,77	0,89	0,96	1,02
	30	0,9	0,96	1,01	1,08
	50	1,2	1,2	1,2	1,2
	100	2,03	1,87	1,74	1,62

продолжение табл. 4

Газ	$p_1 + 0,1$, МПа	Температура t_1 , °С			
		0	50	100	200
Окись углерода	0	1	1	1	1
	10	0,97	1,01	1,03	1,05
	20	1,02	1,06	1,08	1,11
	30	1,12	1,16	1,17	1,18
	40	1,26	1,25	1,24	1,23
	100	2,1	1,94	1,83	1,7
Диоксид углерода	0		1	1	1
	5	0,1	0,6	0,8	0,93
	10	0,2	0,4	0,75	0,87
	20	0,39	0,43	0,6	0,87
	30	0,57	0,57	0,66	0,88
	60	1,07	1,02	1,01	1,07
	100	1,7	1,54	1,48	1,41
Этилен	0	1	1	1	1
	5	0,2	0,74	0,87	0,96
	7	0,23	0,6	0,81	0,94
	10	0,32	0,47	0,73	0,92
	15	0,45	0,51	0,68	0,9
	20	0,58	0,6	0,7	0,89
	30	0,81	0,81	0,82	0,95
	100	2,35	2,18	1,96	1,77

Значения адиабаты k при различных температурах указаны для газов в таблице 5.

Таблица 5

Показатель адиабаты k для различных газов

Наименование	Температура °С	k	Наименование	Температура °С	k
Азот	-180	1,47	Кислород	-180	1,45
	15	1,404		15	1,401
	300	1,384		200	1,396
Аммиак	15	1,31	Метан	1000	1365
	100	1,28		-115	1,41
	300	1,319	Метанол	15	1,31
Ацетилен	-71	1,31		77	1,203
	15	1,26	100	1,20	
Бензол	100	1,10	Оксид азота	-80	1,38
Водяной пар	100	1,324		15	1,40
	200	1,310		300	1,365
	300	1,304	Оксид углерода	-180	1,41
	400	1,301		15	1,404
500	1,296	300		1,379	
Водород	-185	1,605	Сероводород	-57	1,29
	-20	1,420		15	1,32
				300	1,28

	15	1,410	Спирт этиловый	90	1,13
	200	1,398	Уксусная кислота	135	1,15
	800	1,376	Хлор	15	1,355
	2000	1,318		300	1,297
Воздух	-180	1,448	Этан	-82	1,28
	0	1,403		15	1,22
	100	1,399		50	1,21
	1000	1,365	Этилен	-91	1,35
	1800	1,316		15	1,255
Диоксид серы	15	1,29		100	1,18
Диоксид углерода	15	1,28			
	0	1,307			
	100	1,27			
	300	1,217			

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

$$B = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left(\beta^{\frac{2}{k}} - \beta \frac{k+1}{k} \right)}, \quad (5)$$

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

$$B = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, \quad (6)$$

где k – показатель адиабаты расширения газа (принимается по справочным данным [1, 6] или из табл. 2, 5; β – отношение давлений за и перед ПК, $\beta_{кр.}$ – критическое отношение давлений:

$$\beta = \frac{p_2 + 0,1}{p_1 + 0,1}; \quad \beta_{кр.} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}, \quad (7)$$

Расчет времени срабатывания предохранительных клапанов

Расчет времени срабатывания предохранительных клапанов основан на решении системы дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы в клапане при его открытии. Принимая движение замыкающего органа равноускоренным с нулевой начальной скоростью, время открытия клапана t можно определить по формуле, с

$$t = \sqrt{\frac{2mH_{\max}}{(p_1 - p_2)F - R_c}}, \quad (8)$$

где m – масса замыкающего органа с присоединенными деталями, кг принимается 5÷7% от веса клапана; H_{\max} – максимальный ход замыкающего органа, составляет от 0,5 до 3 см; F – площадь проходного сечения клапана, см²; R_c – суммарная сила сопротивления движению замыкающего органа, кгс.

Для практических расчетов принимают

$$(p_1 - p_2)F - R_c = \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{8} \right) (p_1 - p_2)F,$$

причем меньшее значение относится к клапанам, для которых характерны повы-

шение силы сопротивления, например в клапанах с золотниками.

Чем меньше время срабатывания, тем эффективнее работает клапан. Как правило, оно должно быть не более 0,9 секунды.

Расчет предохранительного клапана на герметичность

Проблема герметичности предохранительных клапанов является наиболее острой при их эксплуатации. Для обеспечения герметичности клапана его замыкающий орган необходимо прижать к седлу силой W , причем

$$W \geq F_c \cdot g_{\text{герм}} \quad (9)$$

где F_c – площадь поверхности контакта замыкающего органа с седлом, см^2 ; $g_{\text{герм}}$ – удельное давление на поверхность $\text{кгс}/\text{см}^2$ седла, гарантирующее герметичность.

В таблице 6. представлены формулы для определения $g_{\text{герм}}$ при давлении на входе в предохранительный клапан до $p_1 \leq 800 \text{ кгс}/\text{см}^2$ в зависимости от ширины B_0 уплотняющей поверхности в месте контакта седла и клапана, и материала.

Таблица 6

Определение значения $g_{\text{герм}}$

Материал	Сталь и твердые материалы	Чугун, бронза, латунь	Алюминиевые сплавы, ПЭ, винипласт	Резина, ПВХ
Расчетная формула $g_{\text{герм}}$.	$\frac{35 + p_1}{\sqrt{B_0}}$	$\frac{30 + p_1}{\sqrt{B_0}}$	$\frac{18 + 0,9 p_1}{\sqrt{B_0}}$	$\frac{4 + 0,8 p_1}{\sqrt{B_0}}$

Пример выбора и расчета предохранительного клапана

В ректификационной колонне находится бензиновая фракция при избыточном давлении $p_{\text{раб}}$ равное 800 кПа и температура + 80°C. Производительность колонны Q_p – 600 кг/ч. Так как бензин является токсичным и взрывоопасным продуктом, то необходимо устанавливать два клапана – рабочий и контрольный, а линия сброса закрытая.

Максимально допустимое давление в колонне должно быть

$$p_1 = p_{\text{раб}} + 0,15 \cdot p_{\text{раб}}$$

$$p_1 = 800 + 800 \cdot 0,15 = 920 \text{ кПа}$$

Давление после клапана – атмосферное. Плотность бензина при + 80°C $\rho_{80} = 0,74 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Избыточное количество бензина, необходимое для срабатывания клапана составляет: $0,07 \cdot 600 = 42 \text{ кг}/\text{ч}$.

Из формулы (2) находим

$$F = \frac{42}{5,03 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{0,74(8-0)}} = 34,4 \text{ см}^2,$$

т.к. клапана необходимо выбрать два, то площадь пропускного отверстия каждого не менее $17,2 \text{ см}^2$.

По таблице приложения А выбираем тип клапана СППК4-16-100. Определим время срабатывания клапана по формуле (8)

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,5 \cdot 2}{(8-0)18,08 \cdot \frac{1}{8}}} = 0,999 \text{ с}$$

что говорит об эффективности клапана.

Герметичность определяем из условия, что материал седла и золотника – сталь Х5М.

Необходимое усилие прижатия к седлу определим по формуле (9), где F_c будет равно

$$\frac{\pi}{4}(6,2^2 - 4,8^2) = 12,01 \text{ см}^2; \quad W \geq 12,01 \cdot \frac{35 + 2}{\sqrt{0,7}} = 529 \text{ кгс}$$

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 (2) и (3) и определить диаметр проходного сечения;
- 5) выбрать тип (марку) ПК (таблица 1, или приложения А, В);
- 6) выбрать ПК по каталогу так, чтобы D_y клапана было равно или превышало расчетное значение диаметра проходного сечения.
- 7) определить время срабатывания и необходимое усилие прижатия к седлу клапана.

В случае необходимости определения пропускной способности ПК известного диаметра определяется значение G по формулам (2) или (3) 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 выбрать 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.

3.3. Требования к установке и эксплуатации предохранительных клапанов

Для защиты аппаратов от превышения давления Ростехнадзором 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 250°C ревизию ПК проводят не реже одного раза в год; на аппаратах с агрессивными загрязнениями и полимеризующими средами, сжиженными газами, а также на аппаратах с температурой процесса более 250°C - 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.

3.4. 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.

В зависимости от характера разрушения мембраны подразделяют на следующие типы:

1) *разрывные* (рис. 3, а). Мембраны 1 изготовляют из тонколистового проката и устанавливают во фланцевых соединениях при помощи специальных зажимных колец 2, 3. Их выполняют сплошными, с прорезями и с герметизирующей подложкой в виде пленки из коррозионно-стойкого материала или с вакуумной подложкой;

2) *хлопающие* (рис. 3, б). Мембраны 1 имеют форму сферического купола, выпуклая сторона которого обращена к зоне повышенного давления. При срабатывании купол выворачивается в обратную сторону, ударяется о крестообразный нож 2 и разрушается. Используют для низких давлений. Изготавливают из пластичного материала;

3) *ломающиеся* (рис. 3, в). Мембраны изготовляют из хрупких материалов (чугуна, графита). Эти ПМ наименее инерционны, поскольку их срабатыванию не предшествует пластическая деформация;

4) *срезные* (рис. 3, г). Мембраны 1 при срабатывании срезаются по кромке прижимного кольца 2; изготавливаются из мягких материалов. Во избежание деформаций прогиба мембрана имеет утолщение по всей рабочей части. Недостатком является большой разброс давления срабатывания;

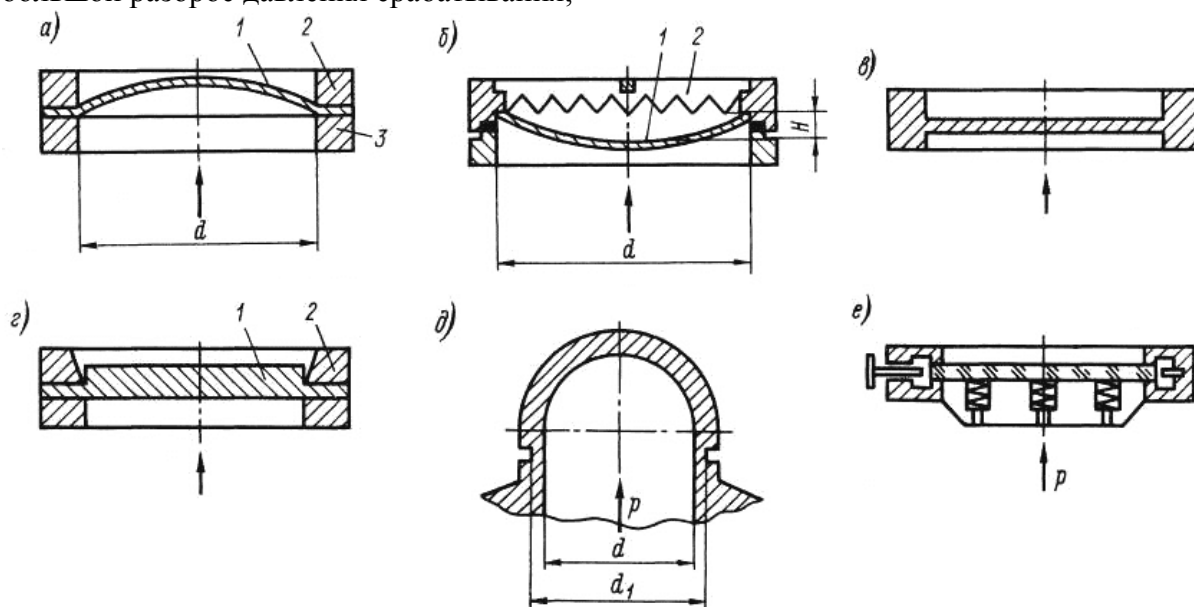


Рис. 3. Предохранительные мембраны: а – разрывные; б – г- хлопающие; в – ломающиеся; г – срезные; д – отрывные; е – специальные

5) *отрывные* (рис. 3, д). Мембраны имеют форму колпачков с ослабленным сечением в виде канавки или проточки;

б) *специальные*. Мембраны выполняются с разрывными стержнями или болтами, с пружинным механизмом, а также стеклянными с ударным механизмом (рис. 3, е) и др. Разрабатывают для условий, не позволяющих использовать типовые конструкции ПМ.

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. 7 [1, 5].

Таблица 7

Характеристики материалов промышленных мембран

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.

3.5. Расчет предохранительных мембран

Расчет предохранительных мембран состоит в определении суммарной площади проходного сечения сбросных отверстий и толщину мембраны из условия ее разрушения при заданном давлении.

В приложении Г приведены типоразмеры и диапазон давлений разрушения для

мембран конструкции ВНИПИнефть [1]

Заданное давление или давление настройки p_n принимается на 25% больше рабочего, т.е.

$$p_n = 1,25p_1 \quad (10)$$

где p_n – давление настройки, Па; p_1 – рабочее давление, Па

Толщина мембраны h рассчитывается в зависимости от типа мембраны по следующим формулам, мм:

Срезная мембрана

$$h = \frac{p_n \cdot D}{4\sigma_{cp}} \quad (11)$$

где D – диаметр мембраны, мм; σ_{cp} – допускаемые напряжения среза материала мембраны, Па.

Ломающая мембрана

$$h = \sqrt{\frac{p_n \cdot D \cdot K}{4\sigma_b}} \quad (12)$$

где K – масштабный фактор, зависящий от соотношения диаметра и толщины мембраны, лежит в пределах $0,32 \div 0,35$; σ_b – предел прочности материала мембраны на разрыв (табл. 8), Па;

Таблица 8

Механические характеристики и сортамент материалов мембран

Металл	Предел прочности при растяжении, σ_b , МПа	Относительное удлинение при разрыве, δ	Толщина, мм
Никель НП1, НП2, НП3	400	0,35	0,05; 0,06;
	450	0,1	0,07; 0,084; 0,1
Сталь 12X18H10T	540	0,35	0,05; 0,08; 0,1; 0,12
	800÷900	0,15	0,15; 0,7; 0,25; 0,3
Алюминий АД-1, АДО, А7	30÷40	0,20÷0,25	0,005÷0,012
	100÷120	0,02÷0,03	0,014; 0,018; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05
Алюминий АМц	60	0,20÷0,28	0,7; 0,84; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0
Медь М1, М2, М3	200÷300	0,30	0,05÷0,20
		0,03	0,3÷1,5
Латунь Л90, Л80	240÷420	0,35÷0,42	0,05÷0,1
			0,12÷0,22 0,25÷1,0
Бериллиевая бронза БрБ2	400÷600	0,20÷0,30	0,02÷0,1
	600÷900	0,02÷0,03	0,11÷0,2

Разрывная мембрана

$$h = \frac{p_n \cdot R}{2k_t \sigma_b} \quad (13)$$

где k_t – температурный коэффициент, определяется в зависимости от материала мембраны и температуры (см. табл. 9); R – радиус кривизны сферической оболочки.

$$R = \frac{D}{4} \left[\frac{1 + \delta}{(1 + \delta)^{1/2} - 1} \right]^{1/2} \quad (14)$$

здесь δ – относительное удлинение материала мембраны при разрыве (табл. 8).

Таблица 9

Значения коэффициента k_t

Материал	Значения коэффициента k_t , при температуре °С						
	-100	-50	0	50	100	200	300
Алюминий	1,4	1,3	1	0,9	0,75	-	-
Сталь	-	-	1	0,9	0,80	0,63	-
Титан	-	-	1	0,95	0,83	0,65	0,61
Никель	1,3	1,2	1	0,95	0,9	0,8	0,7
Бронза	1,1	1,05	1	-	-	-	-

Суммарная площадь проходного сечения мембранного устройства определяется по формуле

$$F = f \cdot V, \text{ м}^2 \quad (15)$$

где V – объем аппарата, м^3 ; f – удельная рабочая площадь мембранного устройства, отнесенная к 1 м^3 объема защищаемого аппарата

$$f = \frac{\Delta V}{\tau W} \quad (16)$$

где ΔV – избыточное количество продуктов взрыва, подлежащих удалению из 1 м^3 аппарата, $\text{м}^3/\text{м}^3$; τ – время достижения максимального давления в аппарате, с; W – скорость истечения, м/с.

Полученная величина F может быть такой, что потребует установки на одном аппарате несколько мембран. Окончательно размеры их назначаются, исходя из удобства размещения и возможности обеспечения требуемого разрушающего давления при стандартной толщине мембраны.

Во всех случаях допускается замена одной предохранительной мембраны несколькими, но меньшего диаметра, при условии, что суммарное сечение будет не менее площади замененной мембраны, т.е.

$$\frac{\pi}{4} (D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2) \geq F \quad (17)$$

Если все мембраны имеют один и тот же размер ($D_1 + D_2 = \dots = D_n = D$), он определяется по формуле:

$$D \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi n}} \quad (18)$$

Ориентировочно рабочий диапазон мембраны может быть выбран в зависимости от объема неохлажденного и неизолированного аппарата с $p_{\text{раб.}}$ до 100 кПа (см. табл. 10).

Таблица 10

Зависимость диаметра мембраны от объема аппарата

$V, \text{ м}^3$	< 0,2	0,2÷0,4	0,4÷1,2	1,2÷4	4÷8	8÷15	15÷40	40÷75	75÷400	400÷750	750÷1500
$D, \text{ мм}$	50	75	100	150	200	250	300	350	500	550	600

При давлении в аппаратах выше 100 кПа рабочий диаметр мембраны можно определить из следующего соотношения, мм²

$$F = Z \cdot S, \quad (19)$$

где S – наружная поверхность аппарата, м²; Z – коэффициент, зависящий от давления (см. табл. 11).

Таблица 11

Значения коэффициента Z

$p, \text{ кПа}$	100÷400	400÷1400	1400÷5000
Z	283	154	77

И, наконец, можно найти рабочий диаметр мембраны по номограмме (рис. 4).

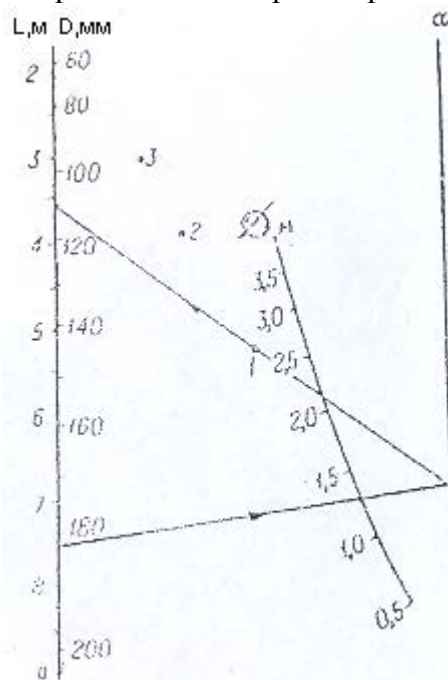


Рис. 4. Давление настройки:

1 – рабочее давление 100÷400 кПа; $p_n = 1,25 p_1 = 1,25 \cdot 6,7 = 8,4$ кПа

2 – 400÷1400кПа; 3 – 1400÷5000кПа.

Точку, соответствующую значению длины сосуда в метрах, необходимо соединить с точкой, соответствующей значению наружного диаметра сосуда в метрах и продолжить линию до пересечения с осью α . Полученную точку далее следует соединить с масштабной точкой, соответствующей давлению и продолжить прямую до пересечения ее с осью диаметров предохранительных мембран в миллиметрах.

Пример: В производстве фенола и ацетона кумольным способом на стадии рек-

тификации реакционной массы для предотвращения разрыва ректификационной колонны при превышении давления необходимо установить разрывную мембрану. Рабочее давление 6,7 кПа, габариты колонны: высота 11 м, диаметр 0,8 м. Температура в колонне 68°C.

Выбираем материал мембраны из условий среды и температуры – алюминий марки АД-1.

Определяем объем колонны:

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = 3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 11 = 5,52 \text{ м}^3$$

По таблице 3.9. находим диаметр мембраны: $D = 200$ мм

Выбираем тип мембраны – разрывная и определяем толщину по (13) и (14)

$$R = \frac{D}{4} \left[\frac{1 + \delta}{(1 + \delta)^{1/2} - 1} \right]^{1/2}$$

$$R = \frac{200}{4} \left[\frac{1 + 0,2}{(1 + 0,2)^{1/2} - 1} \right]^{1/2} = 178 \text{ мм}$$

$$h = \frac{p_H \cdot R}{2k_t \cdot \sigma_B}$$

$$h = \frac{8,4 \cdot 178}{20,9 \cdot 40000} = 0,02 \text{ мм}$$

3.6. 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 устанавливают последовательно, если срок службы одной мембраны в конкретных рабочих условиях недостаточен из-за агрессивного воздействия технологической среды. При этом после разрушения нижней мембраны верхняя мембрана будет воспринимать нагрузку до тех пор, пока нижняя не будет заменена.

3.7. 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.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1: Выбрать и проверить предохранительный клапан устанавливаемый на ректификационную колонну, в которой находится бензиновая фракция при избыточном давлении $p_{\text{раб}}$ и температуре T . Производительность колонны Q_p . Исходные данные приведены в таблице 12.

Таблица 12

Исходные данные

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p_{\text{раб}}$, кПа	500	550	600	650	700	750	850	900	950	450
T , °С	60	62	86	72	74	78	76	70	82	84
Q_p , кг/ч	400	500	600	700	800	900	840	740	640	540

Задание 2: Рассчитать и выбрать ПУ для защиты аппарата с рабочим давлением рабочей среды $p_p = 2$ МПа. Перед аппаратом установлен автоматический клапан –

регулятор давления с D_y , перед клапаном давление $(p_1)_a$, рабочая среда сбрасывается через ПУ в емкость с давлением p_2 , температура в системе примерно равна T . Исходные данные приведены в таблице 13.

Таблица 13

Исходные данные

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рабочая среда	Азот	Воздух	Водород	Кислород	Метан	Оксид углерода	Диоксид углерода	Этилен	Аммиак	Пропан
$p_{\text{раб}}$, МПа	0,16	0,25	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	0,10	0,025
D_y , мм	12	15	20	25	32	40	50	65	8	10
$(p_1)_a$, МПа	4	4,4	4,8	5,0	5,4	10,0	12,0	8,0	7,0	1,0
p_2 , МПа	0,8	0,6	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	0,4	0,3	0,2
T , °К	310	320	290	280	260	240	220	200	100	50

Задание 3: Рассчитать и выбрать ПУ для защиты емкостного аппарата диаметром D и высотой H от возможного взрыва паровоздушной смеси метана. Начальное давление в аппарате атмосферное, температура T , расчетное давление аппарата на прочность $p_n = 0,16$ МПа. Исходные данные приведены в таблице 14.

Таблица 14

Исходные данные

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , м	4,0	3,6	3,2	2,8	2,2	2,0	1,4	1,0	0,8	0,6
H , м	8,0	7,2	7,6	4,0	5,0	4,0	3,4	2,0	3,0	3,4
T , °К	310	320	290	280	260	240	220	200	100	150

Задание 4: В производстве фенола и ацетона кумольным способом на стадии ректификации реакционной массы для предотвращения разрыва ректификационной колонны при превышении давления необходимо установить разрывную мембрану. Рабочее давление $p_{\text{раб}}$, габариты колонны: высота H , диаметр D м. Температура в колонне T . Исходные данные приведены в таблице 15.

Таблица 15

Исходные данные

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p_{\text{раб}}$, кПа	500	550	600	650	700	750	850	900	950	100
H , м	8,0	9,0	7,6	6,0	5,0	7,0	3,4	2,0	3,0	3,4
D , м	0,8	0,7	0,6	1,0	0,5	1,8	0,7	0,4	0,6	0,5
T , °С	52	54	58	60	64	66	68	70	72	74

Задание 5: Для условий задания 3 рассчитать предохранительную мембрану со сплошным куполом. Давление рабочей среды p_1 , температура внутри аппарата T , диаметр мембраны D . Исходные данные приведены в таблице 16.

Таблица 16

Исходные данные

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Материал мембраны	Сталь 12Х18Н10Т	Никеля НП-2	Латунь Л90	Алюминий АДО	Алюминий АД-1	Алюминий АМц	Медь МЗ	Латунь Л80	Бериллиевая бронза БрБ2	Медь М1
p_1 , МПа	0,11	0,20	0,18	0,22	0,09	0,40	0,32	0,16	0,24	0,28
T , °К	310	320	290	280	260	240	220	200	100	150
D , мм	350	300	250	200	150	120	100	80	65	40

Задание 6: Рассчитать пропускную способность предохранительной мембраны диаметром $D_m = 25$ мм, $\alpha_1 = 0,8$ и определить ее пригодность для защиты от повышения давления вследствие пожара вблизи аппарата, содержащего жидкий пропан при давлении 0,7 МПа и температуре 20 °С. Диаметр аппарата D , длина L , аппарат без теплоизоляции и без специального охлаждения. Исходные данные приведены в таблице 17.

Таблица 17

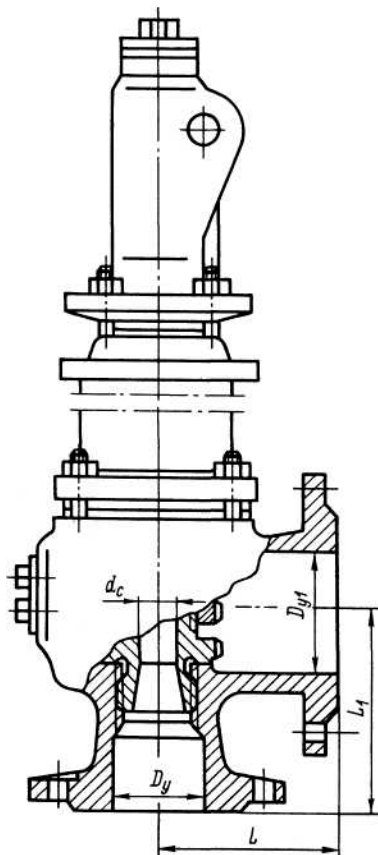
Исходные данные

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D , м	4,0	3,6	3,2	2,8	2,2	2,0	1,4	1,0	0,8	0,6
L , м	8,0	7,2	7,6	4,0	5,0	4,0	3,4	2,0	3,0	3,4

Литература

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. Гуревич Д.Ф., Шпаков О.Н., Вишнев Ю.Н. Арматура химических установок. - Л.: Химия, 1979. - 320 с.
4. Водяник В.И. Предохранительные устройства для защиты химического оборудования. - М.: Химия, 1975.
5. Предохранительные мембраны: Справ. пособие /Водяник В.И., Малахов Н.Н., Полтавский В.Т., Шелюк И.П. - М.: Химия, 1982. - 144 с.
6. 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.

Клапаны предохранительные пружинные полноподъемные фланцевые типа СППК для жидких и газообразных химических и нефтяных сред [1]



Условное обозначение		Условия применения				Основные размеры, мм										
Тип	Исполнение	Среда	t_p max, °C	p_y max, МПа	p_p max, МПа при t_p max	D_y	D_{y1}	L	L_1	d_c						
СППК4-16	17с13нж	Н	450	1,6	0,6	50	80	130	155	30						
	17нж13ст	А	600		0,66	80	100	150	175	40						
	17нж32ст	ВА	200		1,6	100	125	165	205	50						
СППК4Р-16**	17с17нж	Н	450		0,6	150	200	205	250	72						
	17нж17ст	А	600		0,66											
	17нж92ст	ВА	200		1,6											
СППК4-40	17с14нж	Н	450		4,0	1,5	50	80	130	155	30					
	17нж14ст	А	600			1,7										
	17нж94ст	ВА	200			4,0										
СППК4Р-40**	17с25нж	Н	450	1,5		100						125	165	205	250	72
	17нж25ст	А	600	1,7												
	17нж93ст	ВА	200	4,0												
СППК4-64	17с85нж	Н	450	6,3		2,4						50	80	145	160	30
	17нж85ст	А	600			2,65										
	17нж86ст	ВА	200			6,3										
СППК4Р-64**	17с89нж	Н	450		2,4	80	100	165	195	225	38					
	17нж89ст	А	600		2,65											
	17нж79ст	ВА	200		6,3											

СППК4-160	17с80нж	н	450	16,0	6,0	50	80	145	160	30
	17нж80ст	А	600		6,6					
	17нж87ст	ВА	200		16,0					
СППК4Р-160**	17с90нж	Н	450		6,0	80	100	165	195	38
	17нж90ст	А	600		6,6					
	17нж82ст	ВА	200		16,0					

Примечание: * - Принятые обозначения: Н - неагрессивная среда; А - агрессивная; ВА - высоко-агрессивная; ** Предусмотрен рычаг для принудительного открытия и продувки.

Приложение Б

Коэффициенты расхода для полно подъёмных предохранительных клапанов [1]

Входной патрубок ПК D_y , мм	Диаметр седла d_c , мм	α_1 для газообразных сред и паров	α_2 для жидких сред
50	30	0,6	0,1
80	40	0,6	
100	50	0,6	
150	72	0,4	
200	142	0,7	

Приложение В

Предохранительные клапаны пружинные других типов и размеров,
серийно выпускаемые арматурными заводами [1]

Условное обозначение и тип клапана	Условия применения				D_y , мм
	Технологическая среда	t_p max, °С	p_y max, МПа	p_p max, МПа при t_p max	
КВ71-1-11-001, мало подъёмный	Воздух и пар	250	0,6	0,4	20
17Б2бк, мало подъёмный	Вода и пар	180	2,5	2,1	20
17с11нж, мало подъёмный	Аммиак, хладон и другие газообразные среды	150 225	1,6	1,5	15 25
17с42нж, полно подъёмный	Пар и другие газообразные неагрессивные среды	200	1,6	0,8	25
СППКМ-100, полно подъёмный	Жидкие и газообразные неагрессивные химические и нефтяные среды	450	10,0	3,8	25
17с12нж	Аммиак, хладон и другие жидкие и газообразные среды	225	1,6	1,5	50 (входной и выходной патрубки)
17с52п	Жидкие и газообразные неагрессивные среды	120	32,0	32,0	10 15 32

Типоразмерный ряд и диапазон давлений разрушения
для мембран конструкции ВНИПИнефть [1]

Диаметр мембраны, мм	Давление разрушения, МПа, для мембран			
	из нержавеющей стали 12Х18Н10Т	из никеля НП-2	из монель металла НМЖМД28-2.5-1.5	из титана ВТ1-0
Разрывные мембраны				
10	20÷60	4÷40	12÷60	6÷60
16	15÷20	2,5÷25	8÷40	4÷40
25	10÷50	1,6÷16	5÷25	3÷30
32	8÷40	1,2÷12	4÷20	2÷20
40	5÷25	1,0÷10	3÷15	1,5÷15
50	4÷20	0,8÷8	2,5÷12,5	1,2÷12
65	3÷15	0,6÷6	2÷10	1,0÷10
80	2,5÷12,5	0,5÷5	1,5÷7,5	0,8÷8
100	2÷10	0,4÷4	1,2÷6	0,6÷6
125	1,5÷7,5	0,3÷3	1,0÷5	0,5÷5
150	1,2÷6	0,2÷2	0,8÷4	0,4÷4
200	1,0÷5	—	—	—
250	0,8÷4	—	—	—
300	0,7÷3,5	—	—	—
350	0,6÷3	—	—	—
Хлопающие мембраны				
40	0,5÷5	0,5÷5	0,5÷5	0,5÷5
50	0,4÷4	0,4÷4	0,4÷4	0,4÷4
65	0,3÷3	0,3÷3	0,3÷3	0,3÷3
80	0,2÷2	0,2÷1,5	0,2÷2	0,2÷2
100	0,1÷1,5	0,1÷1	0,1÷1,5	0,1÷1,5
125	0,08÷1,2	0,08÷1	0,08÷1,0	0,08÷1,0
150	0,01÷1,0	0,07÷0,8	0,07÷0,8	0,07÷0,8
200	0,06	—	—	—
250	0,05	—	—	—
300	0,04	—	—	—
350	0,03	—	—	—

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»

Кафедра "Производственная безопасность, экология и химия"

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

по дисциплине "Расчет и проектирование систем техносферной безопасности"

Практическая работа

Расчет предохранительного клапана

Выполнил студент группы: _____

фамилия, имя, отчество

Руководитель

Гейко И.В.

Дата представления работы

«_____» _____ 20__ г.

Заключение о допуске к защите

Оценка _____, _____

Подпись преподавателя _____

Нижний Новгород 2015

Оглавление

Введение	3
1. Эксплуатационные параметры оборудования и трубопроводов	4
2. Безопасность эксплуатации сосудов и аппаратов, работающих под давлением	5
3. Защита аппаратов от превышения давления	7
3.1. Классификация предохранительных клапанов	8
3.2. Расчет предохранительных клапанов	10
3.3. Требования к установке и эксплуатации предохранительных клапанов	16
3.4. Предохранительные мембраны. Типы мембран, требования к их материалам	17
3.5. Расчет предохранительных мембран	19
3.6. Особенности установки и эксплуатации предохранительных мембран	23
3.7. Совместное применение предохранительных клапанов и мембран	24
4. Контрольные задания	24
Литература	26
Приложения	27
Приложение А Клапаны предохранительные пружинные полноподъемные фланцевые типа СППК для жидких и газообразных химических и нефтяных сред [1]	27
Приложение Б Коэффициенты расхода для полно подъемных предохранительных клапанов [1]	28
Приложение В Предохранительные клапаны пружинные других типов и размеров, серийно выпускаемые арматурными заводами [1]	28
Приложение Г Типоразмерный ряд и диапазон давлений разрушения для мембран конструкции ВНИПИнефть [1]	29
Приложение Д Образец титульного листа	30