

РОСАТОМ
Северская государственная технологическая академия

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой МАХП
профессор
_____ В.П. Пищулин

«___» _____ 2008 г.

И.Ю. Русаков

**Конструирование и расчет элементов
оборудования отрасли**

Методические указания

Северск 2008

УДК 66.02.001 (075)
ББК 35.11-5-02
Р 88

Русаков И.Ю. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли: методические указания / И.Ю. Русаков.– Северск: Изд-во СГТА, 2008.– 25 с.

Методические указания содержат материал, необходимый для изучения студентами разделов курса «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли». В указаниях приведены рабочая программа, общие методические указания и индивидуальные задания для студентов.

Методические указания предназначены для студентов специальности 240801 ЦДО СГТА.

Методические указания одобрены на заседании методического семинара кафедры МАХП (протокол № 8 от 25.04.2008г.).

Печатается в соответствии с планом выпуска учебно-методической литературы на 2008 год, утвержденным Советом СГТА

Рег. № 42/08 от « 02 » декабря 2008 г.

Рецензент: В.Л. Софронов – профессор кафедры МАХП СГТА, доктор технических наук
Редактор: И.Г. Попова

Подписано к печати _____ Формат 60×84/32
Гарнитура Times New Roman. Бумага писчая № 2
Плоская печать. Усл. печ. л. 0,73. Уч.-изд. л. 1,3
Тираж 50 экз. Заказ _____

Отпечатано ИИО СГТА
636070, Томская обл., г. Северск
пр. Коммунистический, 65

Содержание

Специальные термины	4
Введение	5
1 Общие методические указания	6
2 Рабочая программа по курсу «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли»	6
3 Контрольные вопросы по темам изучаемой дисциплины.....	7
4 Индивидуальные задания.....	9
4.1 Расчет на прочность тонкостенного аппарата.....	10
4.2 Расчет на прочность аппарата высокого давления	11
Литература	13
Приложение А (обязательное) Расчет конструктивных элементов тонкостенных аппаратов на прочность	15
Приложение Б (обязательное) Расчет аппарата высокого давления на прочность.....	18
Приложение В (справочное) Характеристики уплотнительных соединений и крепежных материалов аппаратов высокого давления.....	20

Специальные термины

Аппарат высокого давления – АД.

Корпус сосуда – основная часть аппарата без крышек, уплотнительных элементов, шпилек и других присоединяемых деталей.

Обечайка – цилиндрический элемент корпуса сосуда, изготовленный из листовой стали или поковки.

Концевые элементы – днища, фланцы, горловины, которыми заканчивается цилиндрическая часть корпуса сосуда.

Затвор – совокупность уплотнительных элементов, предназначенных для открывания и закрывания аппарата и обеспечивающих герметичность места стыка соединяемых деталей в условиях эксплуатации.

Уплотнительный элемент – элемент затвора, непосредственно обеспечивающий герметичность места стыка.

Введение

Химическое оборудование предназначено для осуществления в них химических, физических, физико-механических или физико-химических процессов, а также для хранения или транспортирования в них различных химических веществ. К ним относятся аппараты колонные, в основном, предназначенные для проведения массообменных процессов, теплообменные, сушильные и прокаточные, сосуды и аппараты емкостные, фильтры, центрифуги, машины для измельчения и классификации и т.д.

Химическое оборудование в зависимости от технологического назначения, агрегатного состояния перерабатываемых веществ, температуры и давления, характера работы во времени (периодический или непрерывный) и т.д. может иметь различную конструкцию или устройство. Однако все аппараты, наряду с наличием у них своих специфических устройств, как правило, состоят из следующих основных элементов и узлов: цилиндрического, сферического или конического корпуса, состоящего из одной или нескольких обечаек; днища; крышки; штуцеров для подачи и отвода исходных веществ, продуктов переработки и, при необходимости, теплоносителей; люков; опоры; сварных и фланцевых соединений; строповых устройств и устройств для присоединения контрольно-измерительных приборов.

Таким образом, указанные элементы являются общими для большинства сосудов и аппаратов. Поэтому при проведении практических занятий по курсам «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли» и «Основы проектирования предприятий химической промышленности» следует ознакомиться с конструкциями и методиками расчета на прочность основных элементов химических машин, сосудов и аппаратов.

Современные методики прочностного расчета МАХП подразделяют все химическое оборудование на следующие две группы [1-9]:

– *тонкостенные аппараты* – это аппараты, служащие для проведения процессов, протекающих при низких (до 1 МПа) и средних давлениях (от 1 до 10 МПа);

– *толстостенные аппараты* – это аппараты, служащие для проведения процессов, протекающих при высоких давлениях (выше 10 МПа).

Методики расчета, рассматриваемые в данной работе, распространяются на элементы сосудов и аппаратов, работающих под внутренним избыточным или наружным давлением до 100 МПа (до 1000 кг/см²) и используемых преимущественно в атомной, химической, нефтехимической, а также в смежных отраслях промышленности.

Методические указания, рабочая программа и индивидуальные задания представлены в помощь студентам, изучающим курс «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли» и выполняющим индивидуальные расчетные работы по данному курсу. Продолжительность изучения всего курса – два семестра.

1 Общие методические указания

Курс «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли» является теоретическим базисом инженерной подготовки студентов. В этом курсе рассматривается задача создания оборудования (химических машин и аппаратов), отвечающего потребностям эксплуатации, дающего наибольший экономический эффект и обладающего наиболее высокими технико-экономическими показателями.

Целью курса является подготовка высококвалифицированного инженера-механика, владеющего основами проектирования и методиками расчета составных узлов и деталей оборудования, знающего основные конструкции элементов и узлов химических машин и аппаратов.

При изучении материала курса по учебнику студент должен обратить особое внимание на углубленную проработку основных положений темы (раздела), используя для этого методические указания, основное назначение которых – облегчить студенту работу с книгой.

Курс целесообразно изучать последовательно по темам (разделам). Сначала следует изучить теоретическую часть раздела. Учебный материал можно считать проработанным и освоенным при условии, что студент усвоил технические понятия и термины, запомнил основные определения и умеет правильно применить расчетные формулы для решения практических задач.

Большое значение имеет правильный выбор учебника. Не следует одновременно пользоваться несколькими учебниками сразу. Один из учебников, рекомендованный в списке учебной литературы, должен быть принят в качестве основного. Другие учебники и учебные пособия используются в том случае, если прорабатываемый раздел отсутствует или недостаточно подробно изложен в основном учебнике.

2 Рабочая программа по курсу «Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли»

Содержание курса представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Номера тем и их содержание

Номер темы	Наименование и краткое содержание темы
1	Введение Назначение ЕСКД. Методы конструирования. Этапы конструирования. Методы снижения стоимости оборудования. Выбор конструкционного материала. Определение дополнительных напряжений и коэффициентов запаса прочности и устойчивости. Обеспечение техники безопасности на стадии проектирования оборудования.

Окончание таблицы 1

2	Расчет тонкостенных аппаратов Общие положения. Задача расчета. Определение усилий и напряжений в оболочках. Теория прочности. Определение нормальных напряжений от изгибающих моментов. Моментная теория расчета тонкостенных сосудов. Определение усилий, напряжений и деформаций от краевых сил и моментов. Общий порядок определения краевых напряжений. Расчет тонкостенных оболочек под наружным давлением. Расчет крышек и днищ. Проектирование теплообменных рубашек. Проектирование фланцевых соединений. Типы и классификация. Расчет свободного и цельного фланцев. Определение болтовой нагрузки во фланцах. Общие требования при конструировании фланцев. Укрепление отверстий. Расчет укрепляемых отверстий. Опорные устройства. Устройства для строповки аппаратов.
3	Расчет аппаратов высокого давления (АВД) Способы изготовления, конструкции. Расчет обечаек АВД, нагруженных внутренним и наружным давлениями. Обечайки АВД с тепловыми нагрузками. Методы повышения несущей способности АВД. Расчет крышек и днищ АВД. Затворы. Общие понятия, классификация, конструкции. Конструирование затворов. Крепежные элементы АВД. Расчет основных размеров и усилий, действующих на крепежные элементы.
4	Расчет барабанных вращающихся аппаратов Основные понятия. Типы бандажей. Ролики. Расчеты бандажей при различных способах крепления бандажа с барабаном.
5	Взрывозащита оборудования Понятие взрыва. Классификация. Устройства для сброса избыточного давления в аппаратах. Расчет разрывных и хлопающих предохранительных мембран.
6	Расчет на вибростойкость опорных устройств и валов Виды колебаний. Виброизоляция. Расчет быстровращающихся деталей и сосудов.
7	Оборудование радиохимических производств Общие принципы выбора оборудования. Сосуды специальные. Реакторы специальные. Емкости плоские. Емкости кольцевые.
8	Расчет на прочность жестких пластинок Общие понятия пластинки. Общие уравнения круглых пластинок с симметричной нагрузкой. Расчет пластинок при различных схемах нагружения.

3 Контрольные вопросы по темам изучаемой дисциплины

Знания студента по курсу считаются достаточными при правильном ответе на вопросы для самоконтроля:

- 1 Для чего разработана ЕСКД?
- 2 Определение термина «изделие». Виды изделий.
- 3 Методы конструирования.
- 4 Этапы конструирования.
- 5 Методы снижения стоимости оборудования.

- 6 Основные требования к конструкционным материалам.
- 7 Классификация конструкционных материалов.
- 8 Методика определения допускаемых напряжений и коэффициентов запаса прочности и устойчивости.
- 9 Как обеспечивается техника безопасности на стадии проектирования оборудования?
- 10 Определение тонкостенных аппаратов.
- 11 Перечислить расчетные параметры.
- 12 Задача расчета тонкостенного аппарата.
- 13 Вывод уравнения Лапласа.
- 14 Определение нормальных напряжений от изгибающих моментов.
- 15 Условия применения моментной теории расчета тонкостенных сосудов.
- 16 Определение усилий, напряжений и деформаций от краевых сил и моментов.
- 17 Общий порядок определения краевых напряжений.
- 18 Общая методика расчета тонкостенных оболочек под наружным давлением.
- 19 Классификация крышек и днищ тонкостенных аппаратов.
- 20 Общие положения расчета крышек и днищ.
- 21 Конструкции теплообменных рубашек.
- 22 Типы и классификация фланцевых соединений.
- 23 Присоединительные размеры фланцевых соединений.
- 24 Условные проход и давление.
- 25 Конструкции фланцевых соединений.
- 26 Расчет свободного и цельного фланцев.
- 27 Общие положения определения болтовой нагрузки во фланцах.
- 28 Общие требования при конструировании фланцев.
- 29 Методы укрепления отверстий.
- 30 Общие положения расчета укрепления отверстий.
- 31 Опорные устройства аппаратов. Назначение и конструкции.
- 32 Конструкции устройств для строповки машин и аппаратов.
- 33 Толстостенные сосуды и аппараты. Основные понятия.
- 34 Существующие конструкции аппаратов высокого давления (АВД).
- 35 Способы изготовления корпусов АВД.
- 36 Общие положения расчета аппаратов высокого давления.
- 37 Существующие конструкции крышек и днищ АВД.
- 38 Для чего предназначена опрессовка АВД?
- 39 Методы повышения несущей способности АВД.
- 40 Сущность метода составных цилиндров.
- 41 Сущность метода автофреттажа.
- 42 Методика расчета крышек и днищ АВД.
- 43 Затворы. Общие понятия.
- 44 Классификация, конструкции затворов.
- 45 Конструирование затворов.
- 46 Крепежные элементы АВД.

- 47 Факторы, влияющие на расчет основных размеров и усилий, действующих на крепежные элементы.
- 48 Бандажи. Типы бандажей вращающихся аппаратов.
- 49 Назначение и типы роликов вращающихся аппаратов.
- 50 Расчет бандажа, скрепленного с барабаном в нескольких точках.
- 51 Расчет бандажа, скрепленного с барабаном по всей окружности.
- 52 Расчет бандажа, надетого на барабан свободно.
- 53 Общие принципы безопасности оборудования радиохимических производств.
- 54 Конструкции сосудов специальных.
- 55 Конструкции реакторов специальных.
- 56 Взрывозащита оборудования. Основные понятия и определения.
- 57 Конструкции предохранительных мембран и взрывных клапанов.
- 58 Общая методика расчета хлопающих мембран с круглым отверстием.
- 59 Общая методика расчета хлопающих мембран с прямоугольным отверстием.
- 60 Вибростойкость. Основные понятия и определения.
- 61 Классификация и определения колебаний.
- 62 Расчет на вибростойкость опорных устройств и валов.
- 63 Существующие типы виброизоляции.
- 64 Какие детали относятся к быстровращающимся?
- 65 Какие сосуды относятся к быстровращающимся?
- 66 Пластинки. Общие понятия и определения.
- 67 Перечислить допущения Кирхгофа.

4 Индивидуальные задания

Номер варианта индивидуальной работы соответствует порядковому номеру студента в учебном журнале.

Оформление индивидуальных заданий следует выполнять согласно [10-12].

Индивидуальные задания должны быть оформлены в виде расчетов, форма и содержание которых должны соответствовать [13].

В процессе изучения курса каждый семестр студент должен выполнить по одной расчетной работе:

- расчет на прочность тонкостенного аппарата;
- расчет на прочность аппарата высокого давления (АВД).

Данные для выполнения этих расчетов приведены в приложениях А и Б. Дополнительная информация для расчетов приведена в приложении В.

4.1 Расчет на прочность тонкостенного аппарата

Состав и объем расчета определяется заданием. Расчетная работа состоит из пояснительной записки с эскизами, оформленными в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 [10].

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

- титульный лист;
- задание;
- содержание;
- введение;
- эскиз аппарата;
- расчет конструктивных элементов аппарата на прочность;
- заключение;
- список использованной литературы.

Во введении описывают современное состояние и область конструирования тонкостенных сосудов и аппаратов, указывают особенности рассчитываемой конструкции, ее достоинства, недостатки, формулируют задачу расчета.

Расчет конструктивных элементов тонкостенного аппарата на прочность проводят в следующем порядке:

- осуществляют выбор конструкционных материалов для всех элементов аппарата с учетом рабочих температур, агрессивности сред и их концентраций, а также скоростей коррозии материалов аппарата [3, 7, 8];

- проводят выбор коэффициентов запаса прочности и устойчивости, коэффициентов прочности сварных швов, а также модуля продольной упругости [14];

- определяют допускаемые напряжения; расчет допускаемых напряжений для материалов всех конструктивных элементов производят по методике, описанной в работе [14];

- определяют прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов; расчет прибавок производят с учетом скорости коррозии материалов и срока службы как всего аппарата, так и отдельных его конструктивных элементов [2, 4, 14];

- определяют толщины стенок всех конструктивных элементов аппарата и допускаемых давлений с учетом действия внутреннего или внешнего давлений, а также краевых сил и моментов [2, 4, 14-16];

- рассчитывают и выбирают стандартные патрубки для подвода и отвода всех продуктов, а также стандартных заготовок (поковок, труб, листов и т.д.) для изготовления отдельных конструктивных элементов аппарата [2, 4]; при этом найденные расчетным путем толщины стенок всех элементов округляют до ближайшего большего по стандарту размера; в меньшую сторону допускается округление, составляющее не более 3% от расчетной толщины элемента;

- осуществляют расчет укрепления отверстий [2, 4] на корпусе и рубашке;

- проводят расчет укрепления корпуса и рубашки аппарата кольцами жесткости [2, 4, 14];

– выбирают фланцы, лапы и строповые устройства для аппарата; фланцы выбирают в зависимости от рабочего (условного) давления и условного прохода, а лапы и строповые устройства – от веса аппарата [2];

– проверяют корпус аппарата на устойчивость от действия поперечной и осевой сжимающей сил, изгибающих моментов, а также от совместного действия всех нагрузок;

– проверяют все конструктивные элементы аппарата на условие гидравлического испытания [2, 4, 14, 15].

В заключении в виде таблицы приводят основные характеристики тонкостенного аппарата.

4.2 Расчет на прочность аппарата высокого давления

4.2.1 Расчетную работу оформляют в виде пояснительной записки на листах формата А4, содержащей текстовую часть и поясняющие рисунки. Оформление пояснительной записки должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.105-95 [10].

4.2.2 Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

- титульный лист;
- задание с эскизом аппарата
- содержание;
- введение;
- расчет конструктивных элементов аппарата на прочность;
- заключение;
- список использованной литературы.

4.2.2.1 В задании указывают исходные данные, представленные в виде таблицы, и эскиз рассчитываемого аппарата с указанием на нем заданных размеров.

4.2.2.2 Во введении приводят обзор современного состояния в области использования и конструирования сосудов и аппаратов высокого давления. Формулируют цель и задачу расчета.

4.2.2.3 Расчет аппарата высокого давления на прочность производят в следующем порядке:

– производят выбор конструкционных материалов аппарата и уплотнительных элементов с учетом агрессивности рабочей среды и ее температуры; определяют скорость коррозии материала корпуса [3, 6-8];

– определяют механические свойства выбранных конструкционных материалов [2, 4] и выбирают коэффициенты запаса прочности для рабочих условий и условий гидравлических испытаний, коэффициенты запаса устойчивости и коэффициенты прочности сварных швов [14, 15];

– рассчитывают толщину стенки цилиндрического корпуса, проверяют его на допускаемое давление и на условие гидравлического испытания [4, 6, 17-21];

– рассчитывают толщины стенок, днища и крышки, проверяют их на допускаемые давления и на условие гидравлического испытания [4, 6, 17-21]; приводят эскизы днища и крышки с простановкой на них рассчитанных размеров;

– определяют радиальные, меридиональные и кольцевые напряжения в цилиндрической стенке сосуда от внутреннего давления в не менее чем трех точках и строят в масштабе эпюры этих напряжений [4, 6, 19];

– определяют радиальные, меридиональные и кольцевые напряжения для цилиндрической стенки сосуда с тепловыми нагрузками в не менее чем трех точках и строят в масштабе эпюры этих напряжений [4, 6, 19];

– определяют эквивалентные напряжения [4, 6, 19];

– рассчитывают верхний и нижний затворы и приводят в масштабе эскизы поперечного сечения затворов с указанием всех рассчитанных размеров [6, 19];

– подбирают материал, определяют коэффициент запаса прочности и рассчитывают шпильки для верхнего и нижнего соединений крышки и днища и приводят эскиз шпильки [4, 6, 19];

– определяют суммарные осевые податливости крышки и днища аппарата [6];

– определяют конструктивные размеры концевых элементов корпуса аппарата и приводят эскиз одного из концевых элементов;

– рассчитывают массу пустого аппарата и массу аппарата, заполненного рабочей средой;

– проводят подбор строповых устройств и приводят эскиз выбранного устройства с указанием на нем или в отдельной таблице технической характеристики и основных размеров [2];

– проводят подбор опоры для аппарата и приводят эскиз выбранной опоры с указанием на нем или в отдельной таблице технической характеристики и основных размеров [2].

4.2.2.4 В заключении подводят итог проделанной работы и в виде таблицы приводят основные геометрические размеры рассчитанного аппарата.

4.2.2.5 Список литературы составляют в порядке ссылки на литературу в тексте пояснительной записки и оформляют в соответствии с требованиями стандарта [22].

4.2.2.6 В приложении на отдельном листе формата А4 или А3 выполняют эскиз аппарата по полученным размерам в масштабе с указанием этих размеров. Допускается делать эскиз на миллиметровке.

Литература

1 Кольман-Иванов Э.Э. Конструирование и расчет машин химических производств / Э.Э. Кольман-Иванов.– М: Машиностроение, 1985. – 408 с.

2 Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник / А.А. Лащинский.– Л.: Машиностроение, 1981.– 382 с.

3 Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский.– Л.: Машиностроение, 1970.– 752 с.

4 Михалев М.Ф. Расчет и конструирование аппаратов химических производств / М.Ф. Михалев.– М: Машиностроение, 1984.– 301 с.

5 Топтуненко Е.Т. Основы конструирования и расчета химических аппаратов и машин / Е.Т. Топтуненко.– Харьков: ХГУ, 1968.– 276 с.

6 Хисматулин Е.Р. Сосуды и трубопроводы высокого давления: справочник / Е.Р. Хисматулин, Е.М. Королев, В.И. Лившиц.– М.: Машиностроение, 1990.–384 с.

7 Громова А.И. Коррозионная стойкость реакторных материалов: справочник / А.И. Громова, В.Н. Кузнецова, И.К. Морозова.– М.: Атомиздат, 1966.– 522 с.

8 Сухотин А.М. Химическое сопротивление материалов. справочник / А.М. Сухотин, В.С. Зотиков.- Л.: Химия, 1975.– 320 с.

9 Канторович З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов / З.Б. Канторович.– М.: Машгиз, 1960.– 743 с.

10 ГОСТ 2.105-95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.– 37 с.

11 ГОСТ 2.004-88. ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

12 СТП СГТА 2.301-05. Работы выпускные квалификационные. Требования к оформлению.

13 ГОСТ 2.106-96. ЕСКД. Текстовые документы.

14 ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.– 62 с.

15 ГОСТ 24306-80. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Технические требования.– 46 с.

16 ГОСТ 24755-81. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.– 20 с.

17 ГОСТ 25215-82. ЕСКД. Сосуды и аппараты высокого давления. Обечайки и днища. Нормы и методы расчета на прочность.– 9 с.

18 ОСТ 26-1046-87. Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчета на прочность.– 12 с.

19 Миронов В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли: учебное пособие: в 2 ч. / В.М. Миронов, В.М. Беляев.– Томск: ТПУ, 2004. Ч. II.– 108 с.

20 ГОСТ 26303-84. Сосуды и аппараты высокого давления. Шпильки. Методы расчета на прочность.– 10 с.

21 Уплотнение неподвижных металлических днищ сосудов и аппаратов на давление от 10 до 100 МПа. Методика расчета на прочность и плотность. РД 26-01-168-88.– 35 с.

22 ГОСТ 7.1-2003. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления.– 43 с.

23 Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования / В.И. Водяник.– М.: Химия, 1991.

**Приложение А
(обязательное)**

**Расчет конструктивных элементов тонкостенных аппаратов
на прочность**

Исходные данные для расчета конструктивных элементов тонкостенных аппаратов на прочность приведены в таблице А.1, а эскиз тонкостенного аппарата – на рисунке А.1.

Таблица А.1 – Исходные данные для расчета тонкостенного аппарата на прочность

Вариант	Вещество	Концентрация, %	D_1	D_2	$d_1 = d_2$	d_3	d_4
			мм				
1	KNO_3	5	1000	1200	180	60	32
2		7	1200	1300			
3	Na_2SO_4	5	1000	1100			
4		7	1200	1400			
5	KCl	20	800	1000	140	45	28
6		30		900			
7	$NaCl$	5	600	800	108	32	16
8		7		700			
9	Na_2CO_3	10	1200	1400	245	102	45
10		20	1100				
11		30	1200				
12	CH_3COOH	5	2000	2400	180	60	32
13	$(NH_4)_2CO_3$		1800	2000			
14		7	1000	1600			
15	$NaHCO_3$	15	1600	2000	140	45	28
16	HCl	5	1400				
17		7	1300	1700	180	60	32
18	$CuSO_4$	2,5	1000	1200			
19		5	1200	1300			
20	$NaNO_3$	6	600	1000	140	45	28
21		8	1200	1300			
22	KOH	5	800	1100	108	32	16
23		7	1000	1200			

Окончание таблицы А.1

Вариант	Вещество	<i>L</i>	<i>l</i>	α , град.	P_1 , МПа	P_2 , МПа	t_1 , °С
		мм					
1	KNO_3	2000	100	30	1,06	1,20	85
2			50	32	1,50	0,50	60
3	Na_2SO_4	1600		100	35	1,35	1,00
4		1800	37		1,69	0,60	70
5	KCl	800	50	40	1,20	0,70	25
6		1600		42	1,10	0,40	30
7	$NaCl$	600	100	45	0,90	0,35	25
8		1600	50	47	0,60	0,50	20
9	Na_2CO_3	1200	100	50	0,45	0,10	5
10		2600	150	30	0,40	0,20	10
11		1600	100		0,96	0,15	20
12	CH_3COOH	3000	200		1,50		80
13	$(NH_4)_2CO_3$	2000	400	32	2,50	0,20	10
14			300	35	3,00		20
15	$NaHCO_3$	6000	250	40	2,50	0,30	60
16	HCl	3000	300	42	1,70	0,40	20
17			200	43	1,30	0,50	
18	$CuSO_4$	2000	100	31	0,75	0,15	60
19			50	32	0,60	0,20	20
20				45	2,50	0,45	30
21	$NaNO_3$	2600	100	45	2,00	0,60	40
22	KOH	2400	50	30	3,00	0,80	10
23		1200	100		1,80	0,35	15

Примечания Теплоносителем в рубашке аппарата является насыщенный водяной пар;
срок службы аппарата – 10 лет.

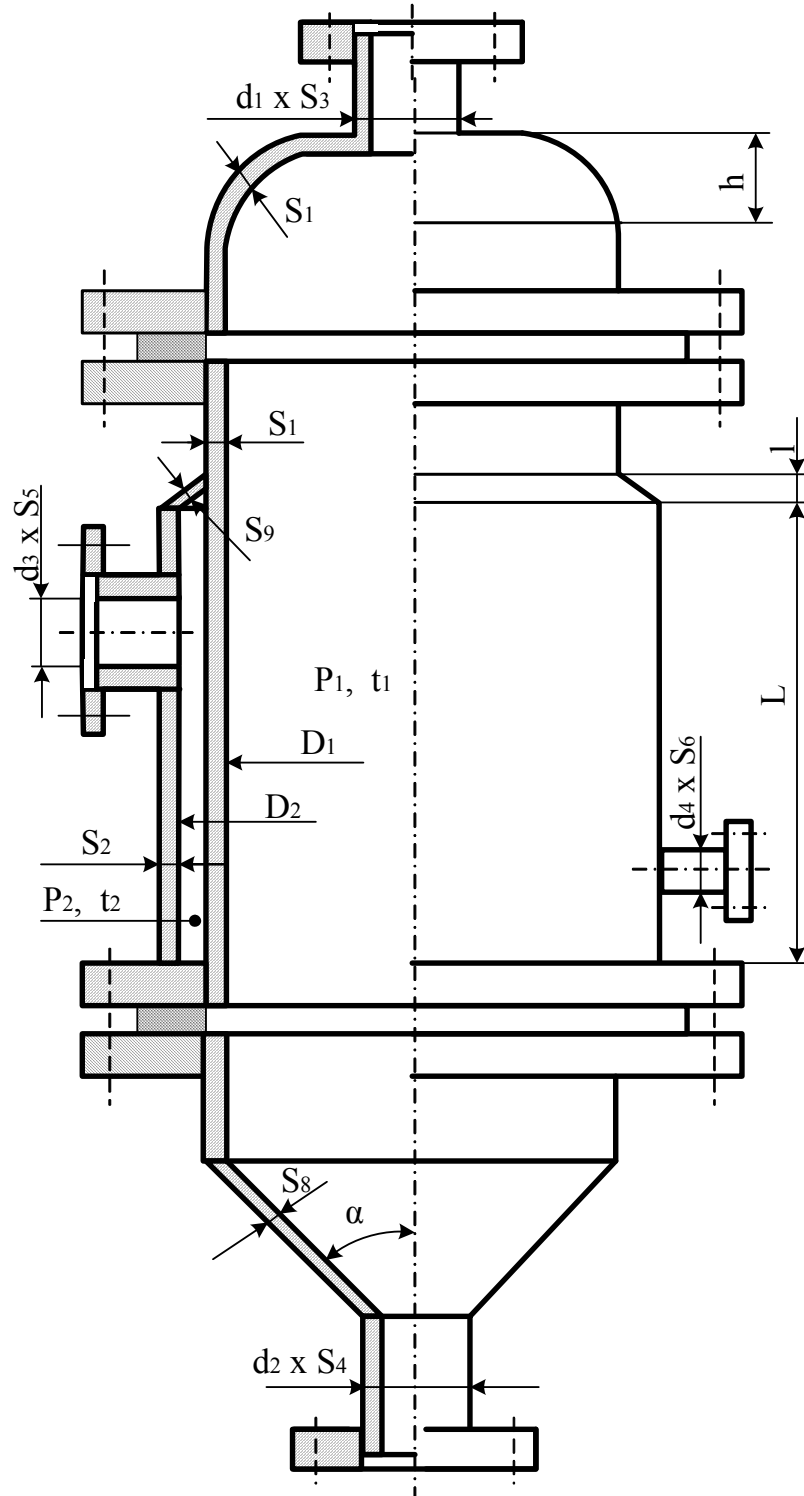


Рисунок А.1 – Эскиз тонкостенного аппарата

Приложение В
(обязательное)
Расчет аппарата высокого давления на прочность

Исходные данные для расчета АД на прочность приведены в
таблице В.1, а эскиз аппарата – на рисунке В.1.

Таблица В.1 – Исходные данные для расчета аппарата высокого давления на прочность

Вариант	Рабочая среда	P, МПа	D, мм	Крышка		Днище		Отверстия в крышке di, мм	Высота аппарата H, м
				Тип	Уплотнительное соединение	Тип	Уплотнительное соединение		
1	NaCl 5%	20	200	плоская	с двухко- нусным кольцом	сферическое	с плоской прокладкой	20, 20	
2		30	30					50	2,5
3		40	400					80	3,0
4		50	500					10, 30	4,0
5		70	600					30, 35	5,0
6	CH ₃ COOH 5%	90	800	эллиптиче- ская	с плоской прокладкой	плоское с радиусным переходом r = 50 мм	с кольцом восьмиугольного сечения	20, 40	5,5
7		100	1000					100	6,0
8		30	1200					20, 25, 40	6,5
9	KOH 5%	25	1400	плоская	с плоской прокладкой	плоское с коническим переходом	с кольцом восьмиугольного сечения	50, 100	7,0
10		15	1800					80, 100	7,5
11		20	2000					20, 70, 100	9,0
12		80	2400					15, 60, 80	9,5
13		20	400					20, 25	11,0
14	40	500	70	4,5					
15	KOH 25%	60	600	плоская	с кольцом треугольного сечения	эллиптиче- ское	с кольцом треугольного сечения	25, 40	5,5
16		80	800					30, 55	6,0
17		90	1100					45, 70	7,0
18		100	1200					50, 80	8,0
19		60	1400					75, 10	9,0

Примечания – Срок службы аппарата – 10 лет; корпус аппарата – цилиндрический; крышка и фланец корпуса не тепло-изолированные; температура среды в аппарате – 100 °С.

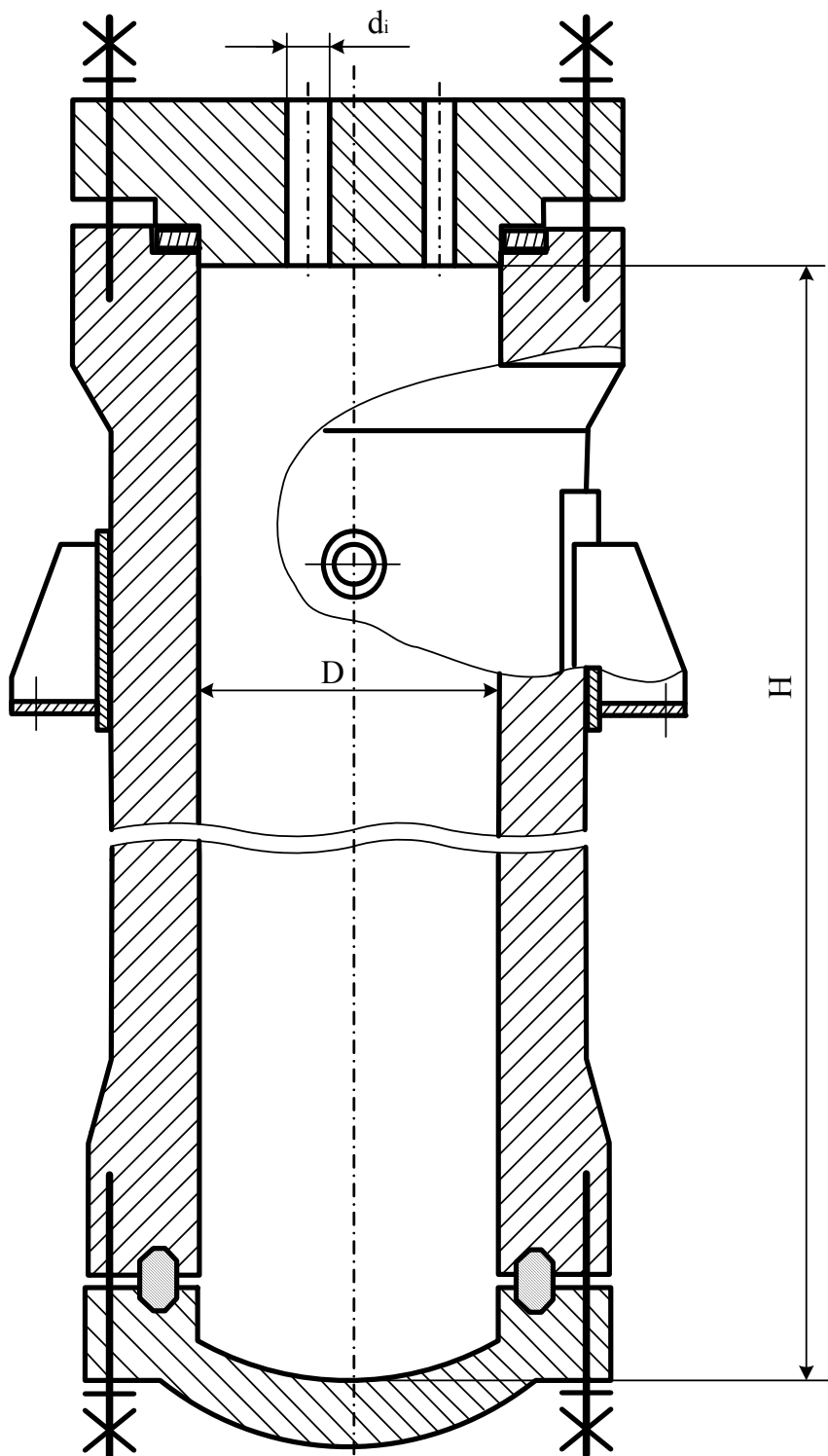


Рисунок Б.1 – Эскиз аппарата

Приложение В (справочное)

Характеристики уплотнительных соединений и крепежных материалов аппаратов высокого давления

Основные характеристики уплотнительных соединений и крепежных материалов аппаратов высокого давления, необходимые для их расчета и конструирования, приведены на рисунках В.1 – В.6 и в таблицах В.1 – В.9.

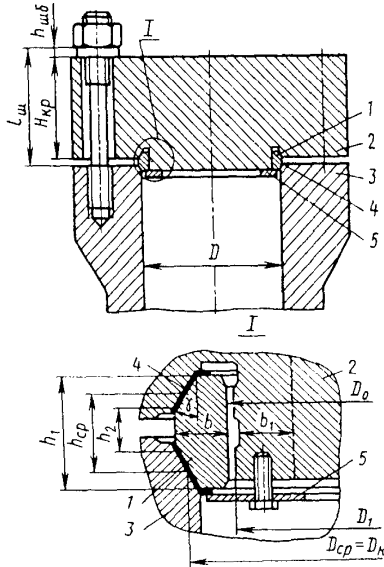


Рисунок В.1 – Уплотнительное соединение с двухконусным кольцом (в незатянутом состоянии)

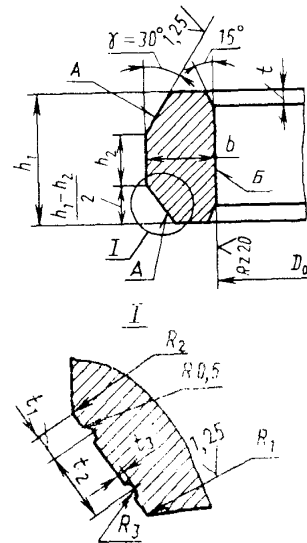


Рисунок В.2 – Двухконусное уплотнительное кольцо

Таблица В.1 – Геометрические размеры двухконусного уплотнительного кольца

В миллиметрах

D	h_1	h_2	b	D_0	t	t_1	t_2	t_3	R_1	R_2	R_3
200	30	15	17	$177^{+0,072}$	3	2,5	3	0,5	2	4	1
300	35	18	$272^{+0,081}$	3		3,5					
400	45	22	$370^{+0,089}$	4		5					
500	50	25	$466^{+0,097}$	4	5	6	5				
600	60	30	$561^{+0,110}$								
800	70	35	$756^{+0,125}$	5	6	11	3		6		
1000	85	42	$948^{+0,140}$	6	7	13					
1200	100	50	$1137^{+0,155}$								
1400	115	58	$1330^{+0,195}$	8	10	15	1	4	7		
1600	135	68	$1522^{+0,230}$		12	18					
1800	150	75	$1715^{+0,230}$								
2000	165	82	$1905^{+0,280}$	10	14	21					
2200	180	92	$2094^{+0,280}$		15	25	2,5				

Окончание таблицы В.1

D	h_1	h_2	b	D_0	t	t_1	t_2	t_3	R_1	R_2	R_3
2400	200	100	89	$2290^{+0,330}$	12	16	27	1,5	4	7	2,5
2600	220	110	96	$2478^{+0,330}$		17	30		5	8	
2800	235	113	103	$2670^{+0,330}$		18	33				
3000	250	125	109	$2864^{+0,330}$		19	35				
3200	270	185	117	$3050^{+0,330}$			39				

Таблица В.2 – Параметры уплотнительных соединений

Тип соединения	Внутренний диаметр аппарата, мм	Расчетное давление, МПа	Расчетная температура, °С
С двухконусным кольцом	200 – 3200	10 – 120	(-40) – (+420)
С кольцом треугольного сечения	200 – 1200	20 – 120	(-40) – (+420)
С кольцом восьмиугольного сечения	400 – 1200	10 – 40	(-40) – (+420)
С плоской прокладкой	200 – 1000	10 – 30	(-40) – (+420)

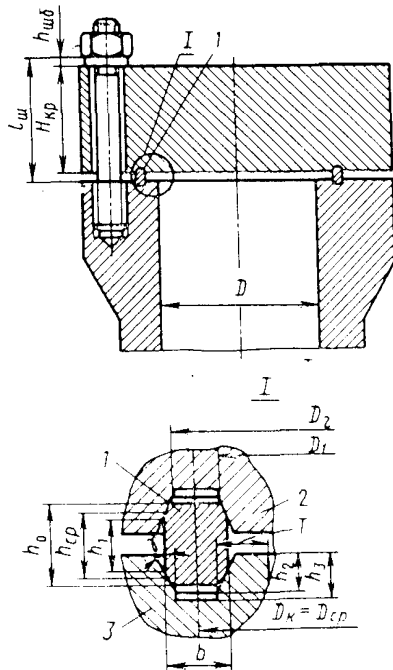


Рисунок В.3– Уплотнительное соединение с кольцом восьмиугольного сечения

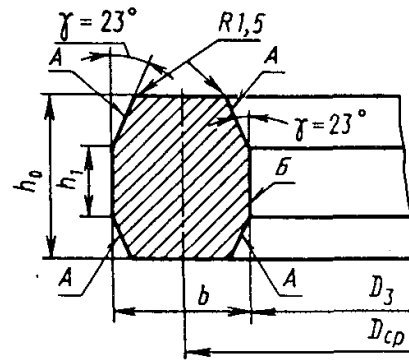


Рисунок В.4– Уплотнительное кольцо восьмиугольного сечения

Таблица В.3 – Геометрические размеры уплотнительного кольца восьмиугольного сечения при $225 \text{ МПа} < \sigma_{\tau}^{20} < 294 \text{ МПа}$

В миллиметрах

D	P , МПа, не более	$D_{\text{ср}}$	D_3	b	h_0	h_1
400	31,4	470	455	15	24	6
500		590	571	19	28	
600	19,6	660	646	14	22	
	31,4	710	687	23	32	
800	19,6	880	882	18	28	8
	31,4	930	900	30	42	
1000	19,6	1100	1078	22	36	10
	31,4	1180	1142	38	53	
1200	19,6	1320	1293	27	42	12
	31,4	1410	1365	45	64	

Таблица В.4 – Геометрические размеры уплотнительного кольца восьмиугольного сечения при $\sigma_{\tau}^{20} > 294 \text{ МПа}$

В миллиметрах

D	P , МПа, не более	$D_{\text{ср}}$	D_3	b	h_0	h_1
400	31,4	460	468	14	20	6
500	31,4	570	552	18	24	
600	19,6	600	646	14	20	
	31,4	685	665	20	342	
800	19,6	870	854	16	24	8
	31,4	910	884	26	36	
1000	19,6	1090	1070	20	32	10
	31,4	1140	1108	32	42	
1200	19,6	1300	1276	24	36	12
	31,4	1370	1332	38	50	

Примечание – Пример условного обозначения уплотнительного кольца для сосуда или аппарата диаметром 800 мм, на давление 31,4 МПа, типа 3:
уплотнительное кольцо 3-800-31,4.

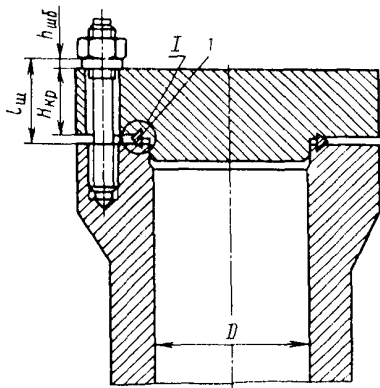


Рисунок В.5– Уплотнительное соединение с кольцом треугольного сечения

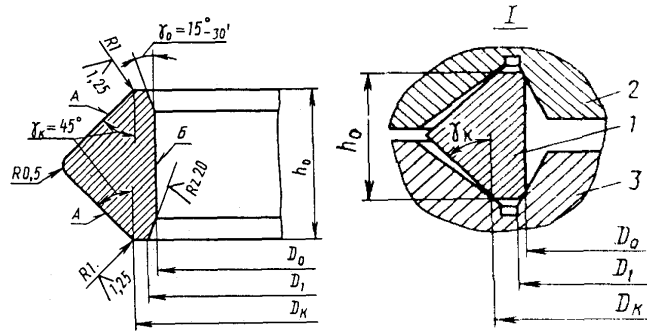


Рисунок В.6– Уплотнительное кольцо треугольного сечения

Таблица В.5 – Геометрические размеры уплотнительного кольца треугольного сечения

В миллиметрах

D	D_0	$D_к$	D_1	h_0
200	219	226	220	13
300	320	328	321	15
400	423	432	424	16
500	528	537	259	18
600	628	637	637	20
800	828	837	837	24
1000	1037	1048	1048	26
1200	1237	1248	1248	30

Таблица В.6 – Напряжение смятие материала прокладки, при котором обеспечивается герметичность затвора

Материал прокладки	$\sigma_{см}$, МПа
Алюминий	70,0
Медь	100,0
Сталь 05кп	122,6
Сталь 08X13	122,6
Сталь 08X18Н10Т	176,6
Монель-металл	152,5

Таблица В.7 – Основные размеры шпилек и резьбовых гнезд ГОСТ 26303-84

В миллиметрах

Диаметр резьбы, d_p	Диаметр стержня шпильки, d_c	Длина резьбы гнезда корпуса, L_2	Глубина гнезда под шпильку, L_2	
			Исполнение I	Исполнение II
60	51,5	105	120	150
64	55,5	110	125	155
68	59,5	115	130	160
72	63,5	120	135	165
76	67,5	125	140	170
80	71,5	130	145	175
85	76,5	140	155	185
90	81,5	145	160	190
95	86,5	155	170	200
100	91,5	160	175	205
105	96,5	170	185	215
110	101,5	175	190	220
120	111,5	190	205	240
130	121,5	205	220	250
140	131,5	220	235	265
150	141,5	235	250	280
160	151,5	250	265	295
170	161,5	265	280	310
180	171,5	280	295	325
190	181,5	295	310	340

Примечания
 Исполнение I – для резьбовых гнезд, изготовленных резьбовыми резцами и метчиками;
 Исполнение II – для резьбовых гнезд, изготовленных резьбонакатными головками.

Таблица В.8 – Материалы для изготовления крепежных деталей [6]
(при температурах от –70 до 600°С)

Шпильки		Гайки		Шайбы	
Марка стали	ГОСТ	Марка стали	ГОСТ	Марка стали	ГОСТ
12Х18Н10Т	5632-72	12Х18Н10Т	5632-74	ВСт 3	380-2005
35Х; 38ХА	4543-71	35Х; 40Х	4543-71	15ХМ	4543-71
30ХМА	4543-71	10Г2	4543-71	12Х18Н10Т	5632-72
20ХН3А	4543-71	25Х1МФ	—	—	—
25Х2М1Ф	—	—	—	—	—
20Х1М1Ф1ТР	ТУ14-1-552-72	—	—	—	—
45Х19Н14В2М	—	—	—	—	—
ОХ14М20В3Т	—	—	—	—	—

Таблица В.9 – Механические свойства материалов для крепежных деталей [14]

Марка стали	σ_B	σ_T	Относительное удлинение, %	Относительное сужение поперечного сечения, %	Ударная вязкость, МДж/м ²	Твердость, НВ
	МПа					
30Х	650	450	15	45	0,6	280
35Х и 38ХА	750	570	15	45	0,6	290
25Х1МФ	850	700	15	50	0,6	280
45Х14М14В2М (ЭИ 69)	700	320	20	35	0,6	250
30ХМА	800	650	15	45	0,6	280