

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**  
**Северский технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ**  
**(СТИ НИЯУ МИФИ)**

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой МАХАП  
д-р.техн. наук \_\_\_\_\_ Ф.В. Макаров  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2013 г.

В.Л. Софронов, И.Ю. Русаков

**РАСЧЕТ АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКИХ  
ПРОИЗВОДСТВ НА ПРОЧНОСТЬ**

Практическое руководство

Северск – 2013

УДК 66.023:593.4

ББК Г35.11я73

С 683

**Софронов В.Л., Русаков И.Ю.**

С 683 Расчет аппаратов химических производств на прочность: практическое руководство/ Софронов В.Л., Русаков И.Ю. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2013. – 22 с.

В практическом руководстве для студентов приведены порядок выполнения расчетов и задания по расчету на прочность аппаратов, работающих при низких и средних (тонкостенные аппараты) и высоких (толстостенные аппараты) давлениях, а также некоторые справочные величины. Руководство предназначено для студентов всех форм обучения СТИ специальностей 240801 – Машины и аппараты химических производств, 240601 – Химическая технология материалов современной энергетики при выполнении индивидуальных расчетных работ по курсам «Основы конструирования и расчета элементов оборудования отрасли» и «Основы проектирования предприятий химической промышленности».

Одобрено на заседании методического семинара кафедры МАХАП (протокол № 7 от «03» мая 2012 г.).

Печатается в соответствии с планом выпуска учебно-методической литературы на 2013 г., утвержденным Ученым Советом СТИ НИЯУ МИФИ.

Рег. № 5/12 от 18 мая 2012 г.

Рецензент

д-р техн. наук, профессор СТИ НИЯУ МИФИ  
Сваровский А.Я.

Редактор

Р.В. Фирсова

Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат 60x84/32.

Гарнитура Times New Roman. Бумага писчая №2.

Плоская печать. Усл. печ. л. 0,64. Уч. изд. л. 1,15.

Тираж 30 экз.

Заказ \_\_\_\_\_

Отпечатано в ИПО СТИ НИЯУ МИФИ

636036, Томская обл., г. Северск,

пр. Коммунистический, 65.

## Содержание

Введение.....	4
1 Расчет конструктивных элементов тонкостенных аппаратов .....	5
1.1 Цель работы.....	5
1.2 Состав и объём расчета.....	5
2 Расчет конструктивных элементов аппаратов высокого давления....	6
2.1 Цель и организация работы.....	6
2.2 Оформление и состав расчета.....	7
2.3 Специальные термины.....	9
Литература.....	10
Приложение А (обязательное). Расчет конструктивных элементов тонкостенного аппарата на прочность.....	12
Приложение Б (обязательное). Расчет аппарата высокого давления на прочность.....	15
Приложение В (справочное). Характеристики уплотнительных соединений и крепежных материалов аппаратов высокого давления.....	17

## Введение

Химическое оборудование предназначено для осуществления в них химических, физических, физико-механических или физико-химических процессов, а также для хранения или перемещения в них различных химических веществ. К ним относятся аппараты колонные, в основном, предназначенные для проведения массообменных процессов; теплообменные, сушильные и прокалочные; 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.

Указанные элементы являются общими для большинства сосудов и аппаратов. Поэтому при проведении практических занятий по курсу «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 (от 1 до 10 МПа) давлениях;

– 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 обеих групп, работающих под внутренним избыточным или наружным давлением до 100 МПа (до 1000 кг/см<sup>2</sup>) и используемых в атомной, химической, нефтехимической, и в смежных отраслях промышленности.

# **1 Расчет конструктивных элементов тонкостенных аппаратов**

## **1.1 Цель работы**

Целью работы является:

- закрепление теоретических знаний и расчетно-практических рекомендаций при расчете на прочность и устойчивость отдельных конструктивных элементов тонкостенных аппаратов, работающих в условиях нагружения низким (до 1 МПа) или средним (до 10 МПа) давлением;
- расчётную работу выполняют по индивидуальному заданию, приведённому в приложении А. Номер индивидуального задания соответствует порядковому номеру студента в групповом журнале. Работу выполняют с использованием государственных стандартов, технической и справочной литературы.

## **1.2 Состав и объём расчета**

Состав и объём расчета определяется заданием. Расчетная работа состоит из пояснительной записки с эскизами, оформленной 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.

В 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:

- 1) 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];
- 2) проводят выбор коэффициентов запаса прочности и устойчивости, коэффициентов прочности сварных швов, а также модуля продольной упругости [11,20];
- 3) определяют допускаемые напряжения. Расчет допускаемых напряжений для материалов всех конструктивных элементов производят по методике, описанной в работе [11,20];

4) 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 [2,4,11,20];

5) определяют толщины стенок всех конструктивных элементов аппарата и допускаемые давления с учетом действия внутреннего или внешнего давлений, а также краевых сил и моментов [2,4,11-13,20];

6) 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;

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

8) проводят расчет укрепления корпуса и рубашки аппарата кольцами жесткости [2,4,11,21];

9) 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 массы аппарата [2,21];

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

11) проверяют все конструктивные элементы аппарата на условие гидравлического испытания [2,4,11,12,20].

В заключении в виде таблицы приводят основные характеристики тонкостенного аппарата.

В расчетной работе для каждого рассчитываемого элемента (крышка, корпус, днище, рубашка и т.д.) или элемента, выбираемого по нормативно-технической документации, должен быть представлен изображение этого элемента с указанием всех номинальных размеров. Изображение выполняют карандашом, с использованием чертежных инструментов.

Индивидуальные задания для расчета тонкостенного аппарата на прочность и схема аппарата приведены в приложении А.

## **2 Расчет конструктивных элементов аппаратов высокого давления**

### **2.1 Цель и организация работы**

Целью работы является выработка у студентов навыков по конструированию и расчёту химического оборудования. В соответствии с этим студент, выполняющий расчёт, должен знать области применения различных

конструкционных материалов; технические требования к конкретным видам химического оборудования; факторы, определяющие конструкцию его основных элементов; современные методики расчёта элементов оборудования. Студент также, должен уметь подбирать нормативно-техническую и техническую литературу и пользоваться ею для грамотного проведения расчёта.

Расчётную работу выполняют по индивидуальному заданию, приведённому в приложении Б. Номер индивидуального задания соответствует порядковому номеру студента в групповом журнале. Работу выполняют с использованием государственных стандартов, технической и справочной литературы.

## **2.2 Оформление и состав расчёта**

Расчётную работу оформляют в виде пояснительной записки на листах формата А 4, содержащей текстовую часть и поясняющие рисунки. Оформление пояснительной записки должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.105-95 [10].

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

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

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

В введении приводят обзор современного состояния в области использования и конструирования сосудов и аппаратов высокого давления. Формулируют цель и задачу расчёта.

Расчёт аппарата высокого давления на прочность производят в следующем порядке:

1) производят выбор конструкционных материалов аппарата и уплотнительных элементов с учётом агрессивности рабочей среды и её температуры; определяют скорость коррозии материала корпуса [3,6-8];

2) 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 [11,12];

3) рассчитывают толщину стенки цилиндрического корпуса, проверяют ее на допустимое давление и на условие гидравлического испытания [4,6,14-16];

4) рассчитывают толщины стенок, днища и крышки проверяют их на допускаемые давления и на условие гидравлического испытания [4,6,14-16]. Приводят эскизы днища и крышки с простановкой на них рассчитанных размеров;

5) определяют радиальные, меридиональные и кольцевые напряжения в цилиндрической стенке сосуда от внутреннего давления в не менее, чем трёх точках и строят в масштабе эпюры этих напряжений [4,6,16];

6) определяют радиальные, меридиональные и кольцевые напряжения для цилиндрической стенки сосуда с тепловыми нагрузками в не менее, чем в трёх точках и строят в масштабе эпюры этих напряжений [4,6,16];

7) определяют эквивалентные напряжения [4,6,16];

8) рассчитывают верхний и нижний затворы и приводят в масштабе чертежи поперечного сечения затворов с указанием всех рассчитанных размеров [6,16];

9) подбирают материал, определяют коэффициент запаса прочности и рассчитывают шпильки для верхнего и нижнего соединений крышки и днища и приводят эскиз шпильки [4,6,16];

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

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

12) рассчитывают массу пустого аппарата и массу аппарата, заполненного рабочей средой;

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

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

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

Список литературы составляют в порядке ссылки на литературу в тексте пояснительной записки и оформляют в соответствии с требованиями стандарта [18].

В расчетной работе для каждого рассчитываемого элемента (крышка, корпус, днище, рубашка и т.д.) или элемента выбираемого по нормативно-технической документации, должен быть изображен эскиз этого элемента с указанием всех номинальных размеров. Эскиз выполняется карандашом, с использованием чертежных инструментов.

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.



## 2.3 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.

## 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; под ред. А. Р. Толчинского. – 2-е изд., стереотип. – М.: Альянс, 2008.
- 3 Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский; под ред. Н. Н. Логинова. – 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- 4 Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: примеры и задачи: учебник для вузов / М. Ф. Михалев [и др.] ; под ред. М. Ф. Михалева. – Л.: Машиностроение, 1984 . – 299 с.
- 5 Топтуненко Е.Т. Основы конструирования и расчета химических аппаратов и машин/ Е.Т. Топтуненко. – Харьков: ХГУ, 1968. – 276 с.
- 6 Хисматуллин Е.Р. Сосуды и трубопроводы высокого давления: справочник/ Е.Р. Хисматуллин, Е.М. Коралёв, 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: учебник для вузов / З.Б. Канторович .– 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машгиз, 1960 .— 743 с.
- 10 ГОСТ 2.105-95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М.: Изд-во стандартов, 196.– 37 с.
- 11 ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1990.– 62 с.
- 12 ГОСТ 24306-80. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1981.– 46 с.
- 13 ГОСТ 24755-81. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1982.– 20 с.
- 14 ГОСТ 25215-82 ЕСКД. Сосуды и аппараты высокого давления. Обечайки и днища. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1983.– 9 с.
- 15 ОСТ 26-1046 – 87. Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчёта на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1988.– 12 с.
- 16 Миронов В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли: учебное пособие. Ч. II./ В.М. Миронов, В.М. Беляев – Томск: ТПУ, 2004. – 108 с.

17 ГОСТ 26303-84. Сосуды и аппараты высокого давления. Шпильки. Методы расчёта на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 10 с.

18 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.

19 ГОСТ 7.1 – 2003. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 43 с.

20 ГОСТ Р 52857.1–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 320 с.

21 ГОСТ 26276–84 Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. Основные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 20 с.

**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

Заказать расчет КРЭОО по этой методичке Вы можете на сайте <http://diplom-berezniki.ru>

Ва- риант	Веще- ство	Концен- трация, %	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	d <sub>1</sub> = d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>
1	KNO <sub>3</sub>	5	1000	1200	180	60	32
2	KNO <sub>3</sub>	7	1200	1300	180	60	32
3	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	1000	1100	180	60	32
4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7	1200	1400	180	60	32
5	KCl	20	800	1000	140	45	28
6	KCl	30	800	900	140	45	28
7	NaCl	5	600	800	108	32	16
8	NaCl	7	600	700	108	32	16
9	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10	1200	1400	245	102	45
10	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	20	1100	1400	245	102	45
11	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30	1200	1400	245	102	45
12	CH <sub>3</sub> COOH	5	2000	2400	245	102	45
13	CH <sub>3</sub> COOH	7	2400	2600	245	102	45
14	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5	1800	2000	180	60	32
15	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	7	1000	1600	180	60	32
16	NaHCO <sub>3</sub>	10	2200	2800	140	45	28
17	NaHCO <sub>3</sub>	15	1600	2000	140	45	28
18	HCl	5	1400	2000	180	60	32
19	HCl	7	1300	1700	180	60	32
20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	1700	2200	245	102	45
21	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10	1900	2400	245	102	45
22	HNO <sub>3</sub>	3	2100	2600	140	45	28
23	HNO <sub>3</sub>	5	2600	3000	140	45	28
24	FeCl <sub>3</sub>	0,6	2000	2500	180	60	32
25	FeCl <sub>3</sub>	1,0	2400	3000	180	60	32
26	CuSO <sub>4</sub>	1,8	1800	2400	245	102	45
27	CuSO <sub>4</sub>	2,5	1000	1200	180	60	32
28	CuSO <sub>4</sub>	5,0	1200	1300	180	60	32
29	NaNO <sub>3</sub>	6	600	1000	140	45	28
30	NaNO <sub>3</sub>	8	1200	1300	140	45	28
31	KOH	5	800	1100	108	32	16
32	KOH	7	1000	1200	108	32	16

Заказать расчет КРЭОО по этой методичке Вы можете на сайте: <http://diplom-berezniki.ru>

Окончание таблицы А.1

Заказать расчет КРЭОО по этой методичке Вы можете на сайте <http://diplom-berezniki.ru>

Вариант	Вещество	L	$\alpha$ , град.	l	P <sub>1</sub> , МПа	P <sub>2</sub> , МПа	t <sub>1</sub> , °C
1	KNO <sub>3</sub>	2000	30	100	1,06	1,2	85
2	KNO <sub>3</sub>	2000	32	50	1,5	0,5	60
3	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1600	35	50	1,35	1,0	90
4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1800	37	100	1,69	0,6	70
5	KCl	800	40	100	1,2	0,7	25
6	KCl	1600	42	50	1,1	0,4	30
7	NaCl	600	45	100	0,9	0,35	25
8	NaCl	1600	47	50	0,6	0,5	20
9	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1200	50	100	0,45	0,1	5
10	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2600	30	150	0,4	0,2	10
11	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1600	30	100	0,96	0,15	20
12	CH <sub>3</sub> COOH	3000	30	200	1,5	0,15	80
13	CH <sub>3</sub> COOH	4000	31	200	2,0	0,1	60
14	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2000	32	400	2,5	0,2	10
15	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2000	35	300	3,0	0,2	20
16	NaHCO <sub>3</sub>	3500	37	300	1,5	0,25	60
17	NaHCO <sub>3</sub>	6000	40	250	2,5	0,3	60
18	HCl	3000	42	300	1,7	0,4	20
19	HCl	2000	43	200	1,3	0,5	20
20	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2000	45	250	1,7	0,55	50
21	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3000	48	250	2,2	0,6	50
22	HNO <sub>3</sub>	2000	52	250	1,7	0,7	50
23	HNO <sub>3</sub>	3000	55	200	1,3	0,4	60
24	FeCl <sub>3</sub>	3000	58	250	1,5	0,6	20
25	FeCl <sub>3</sub>	3500	60	300	0,8	0,3	20
26	CuSO <sub>4</sub>	6000	30	300	1,8	0,55	80
27	CuSO <sub>4</sub>	2000	31	100	0,75	0,15	60
28	CuSO <sub>4</sub>	2000	32	50	0,6	0,2	20
29	NaNO <sub>3</sub>	2500	45	50	2,5	0,45	30
30	NaNO <sub>3</sub>	2600	45	100	2,0	0,6	40
31	KOH	2400	30	50	3,0	0,8	10
32	KOH	1200	30	100	1,8	0,35	15

Примечания.

1 Теплоносителем в рубашке аппарата является насыщенный водяной пар.

2 Срок службы аппарата – 10 лет.

Заказать расчет КРЭОО по этой методичке Вы можете на сайте <http://diplom-berezniki.ru>

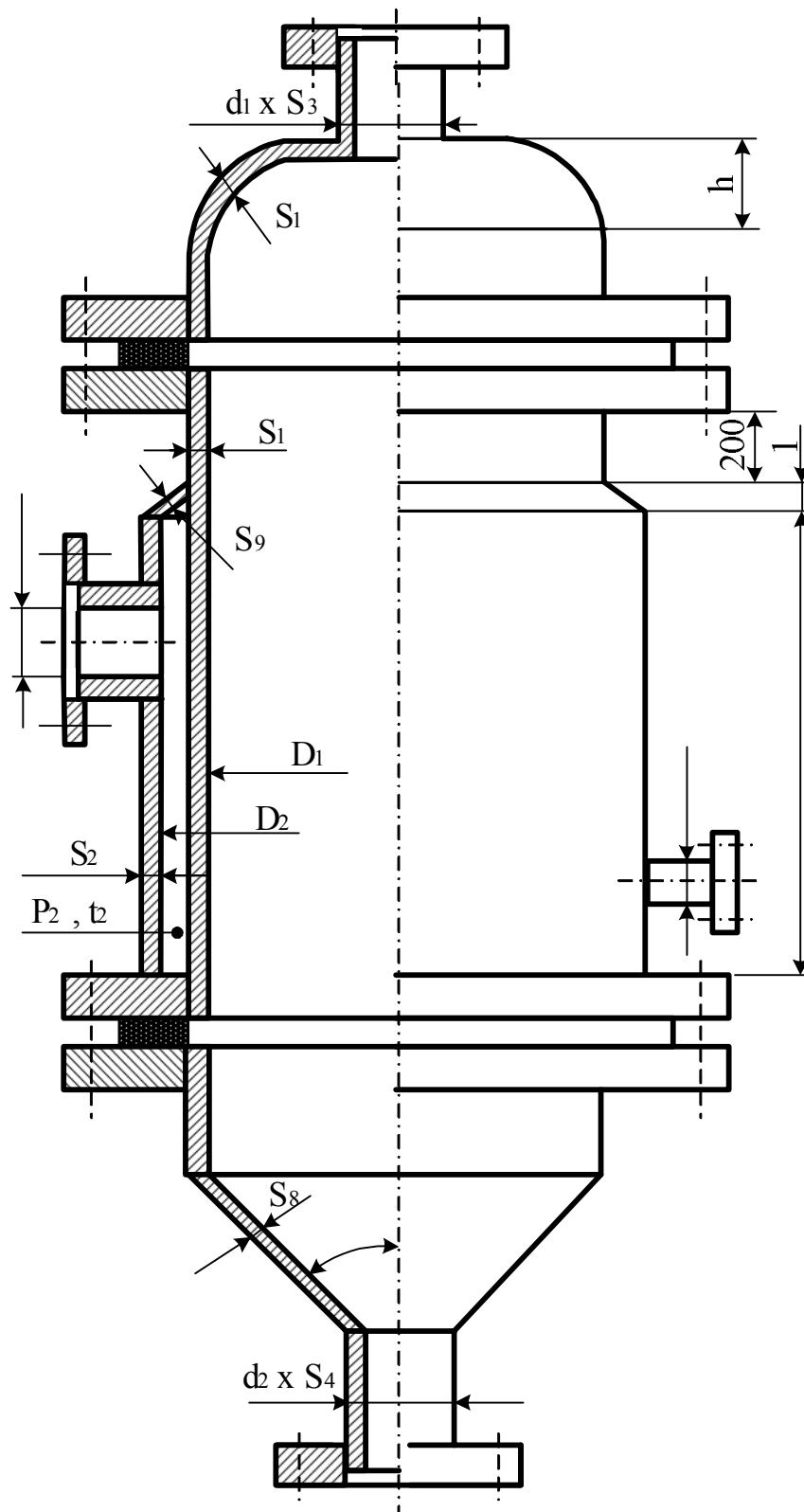


Рисунок А.1 – Схема аппарата

## Приложение Б (обязательное)

### Расчет аппарата высокого давления на прочность

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

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

Вариант	Рабочая среда	P, МПа	D, мм	Крышка		Днище		Отверстия в крышке d <sub>i</sub> , м	Высота аппарата H, м
				Тип	Уплотнительное соединение	Тип	Уплотнительное соединение		
1	NaCl 5%	20	200	плоская	с двухконусным кольцом	сферическое	с плоской прокладкой	20,20	2,5
2		30	300					50	3,0
3		40	400					80	4,0
4		50	500					10, 30	5,0
5		70	600					30,35	5,5
6	CH <sub>3</sub> COOH 5%	90	800	эллиптическая	с плоской прокладкой	плоское с радиусным переходом r = 50 мм	с кольцом восьмиугольного сечения	20, 40	6,0
7		100	1000					100	6,5
8		30	1150					20,25,40	7,0
9		25	1150					50,100	7,5
10		20	1200					30,50,80	8,0
11	KOH 5%	15	1250	плоская	с кольцом восьмиугольного сечения	плоское с коническим переходом	с плоской прокладкой	80, 100	9,0
12		20	600					20, 70, 100	9,5
13		70	800					150,80	10,0
14		80	100					15,60,80	11,0
15		90	1200					100,150	12,
16	NaCl 20%	100	550	сферическая	с кольцом треугольного сечения	плоское с радиусным переходом r = 30 мм	с двухконусным кольцом	120, 170	13,0
17		90	700					50,120,200	14,0
18		80	800					160,300	16,0
19		20	400					20,25	4,5
20		40	500					70	5,5
21	KOH 25%	60	600	плоская	с двухконусным кольцом	эллиптическое	с кольцом треугольного сечения	25,40	6,0
22		80	800					30,55	7,0
23		90	1000					45,70	8,0
24		100	1100					50,80	9,0
25		60	1200					75,10	10,0

Примечания: 1 Срок службы аппарата – 10 лет. 2 Корпус аппарата – цилиндрический. 3 Крышка и фланец корпуса не теплоизолированы. 4 Температура среды в аппарате – 120 °С.

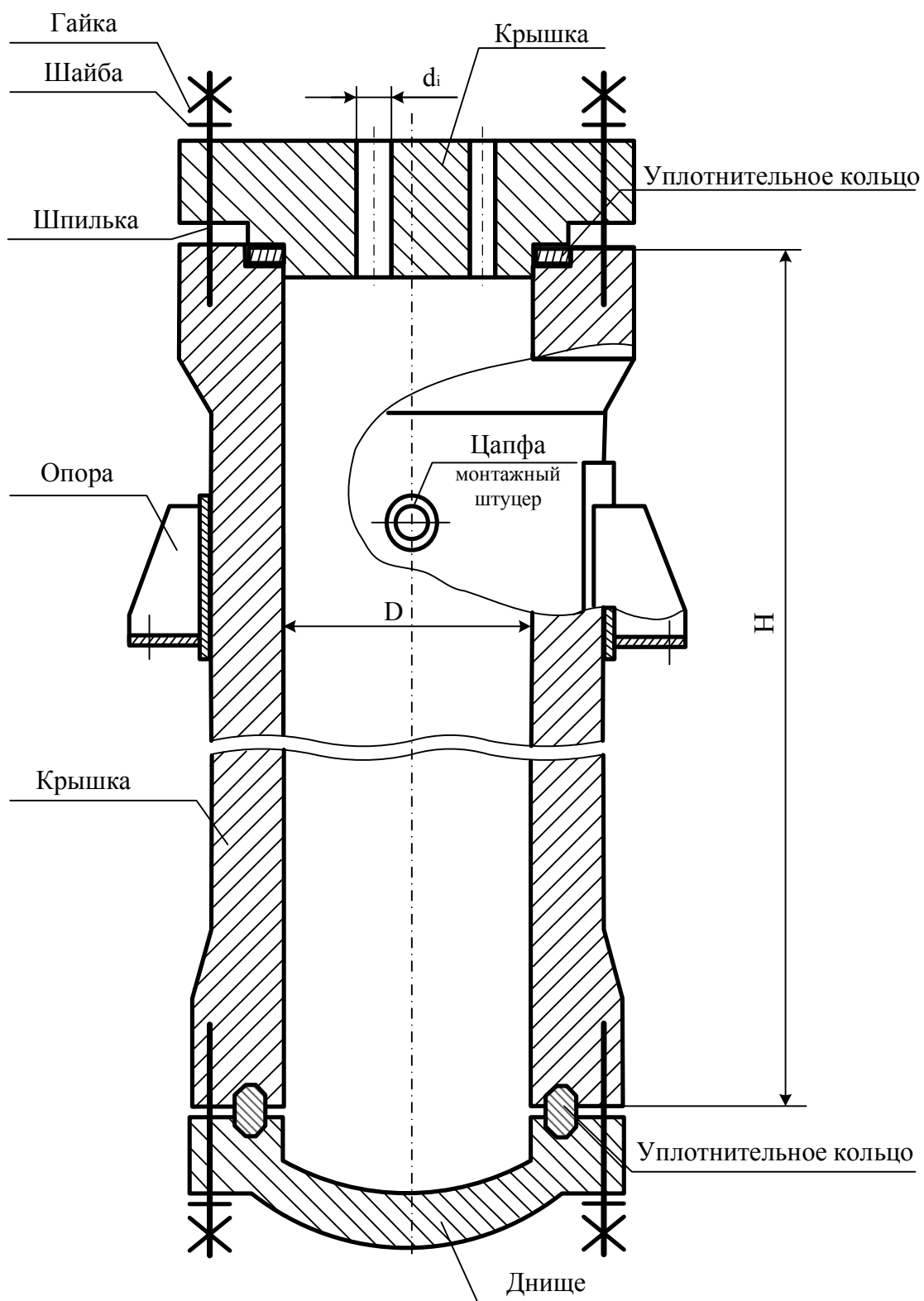


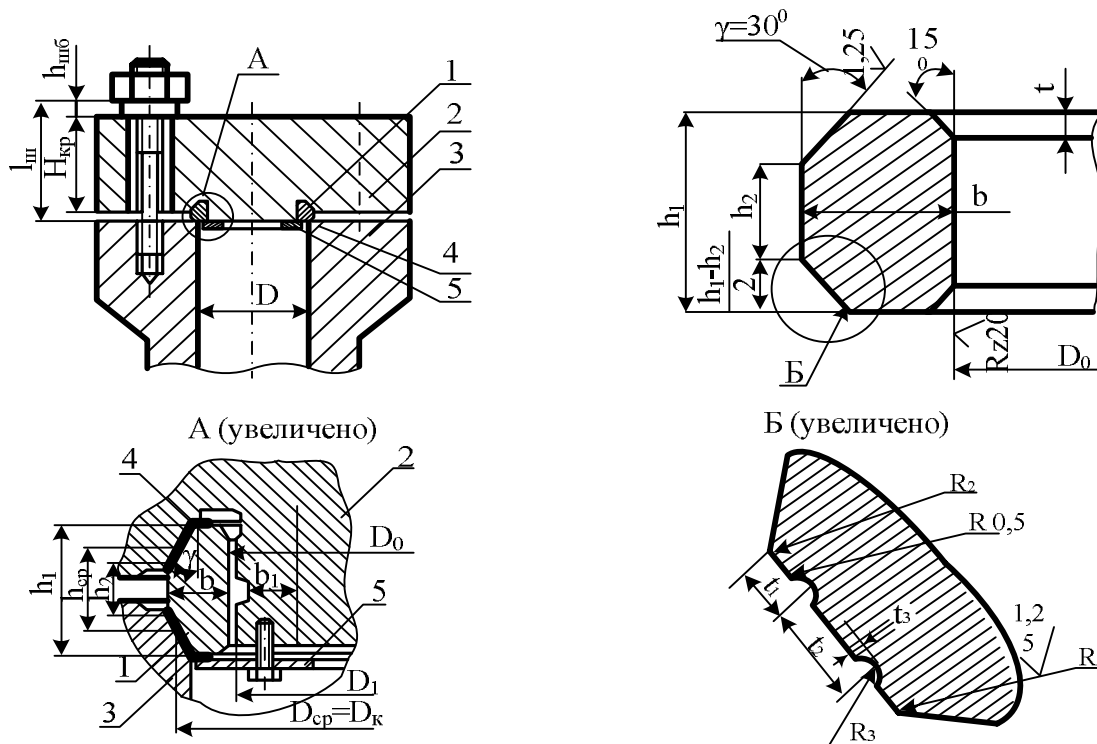
Рисунок Б.1 – Схема аппарата



## 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.



- 1 – уплотнительное кольцо; 2 – крышка;  
3 – фланец; 4 – уплотняющий материал;  
5 – кольцо поддерживающее

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

Рисунок В.2 – Двухконусное уплотнительное кольцо

Таблица В.1 – Геометрические размеры двухконусного уплотнительного кольца, (см. рисунки В.1, В.2)

В миллиметрах

D	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	b	D <sub>0</sub>	t	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
200	30	15	17	177 <sup>+0,072</sup>	3	2,5	3	0,5	2	4	1
300	35	18	20	272 <sup>+0,081</sup>		3	3,5				
400	45	22	23	370 <sup>+0,089</sup>		4	5				
500	50	25	26	466 <sup>+0,097</sup>	4	5	6	5	5	1	
600	60	30	30	561 <sup>+0,110</sup>							9
800	70	35	34	756 <sup>+0,125</sup>							

Окончание таблицы В.1

1000	85	42	40	948 <sup>+0,140</sup>	5	6	11	1	3	6	1,5	
1200	100	50	47	1137 <sup>+0,155</sup>		7	13					
1400	115	58	53	1330 <sup>+0,195</sup>	6	10	15					
1600	135	68	61	1522 <sup>+0,230</sup>	8	12	18					
1800	150	75	67	1715 <sup>+0,230</sup>		13	20					
2000	165	82	74	1905 <sup>+0,280</sup>	10	14	21					
2200	180	92	82	2094 <sup>+0,280</sup>		15	25					
2400	200	100	89	2290 <sup>+0,330</sup>	12	16	27		1,5	5	8	2,5
2600	220	110	96	2478 <sup>+0,330</sup>		17	30					
2800	235	113	103	2670 <sup>+0,330</sup>		18	33					
3000	250	125	109	2864 <sup>+0,330</sup>		19	35					
3200	270	185	117	3050 <sup>+0,330</sup>			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)

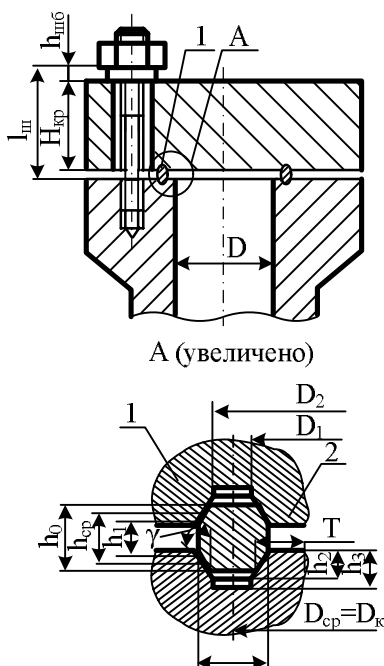


Рисунок В.3– Уплотнительное соединение с кольцом восьмиугольного сечения

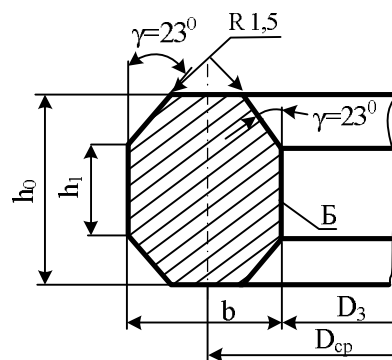


Рисунок В.4– Уплотнительное кольцо восьмиугольного сечения

Таблица В.3 – Геометрические размеры уплотнительного кольца восьмиугольного сечения при  $225 \text{ МПа} < \sigma_{\tau}^{20} < 294 \text{ МПа}$  (см. рисунки В.3, В.4)

В миллиметрах

<b>D</b>	<b>P, МПа, не более</b>	<b>D<sub>ср</sub></b>	<b>D<sub>з</sub></b>	<b>b</b>	<b>h<sub>0</sub></b>	<b>h<sub>1</sub></b>
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  $\sigma_{\tau}^{20} > 294 \text{ МПа}$  (см. рисунки В.3, В.4)

В миллиметрах

<b>D</b>	<b>P, МПа, не более</b>	<b>D<sub>ср</sub></b>	<b>D<sub>з</sub></b>	<b>b</b>	<b>h<sub>0</sub></b>	<b>h<sub>1</sub></b>
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.

Заказать расчет КРЭОО по этой методичке Вы можете на сайте <http://diplom-berezniki.ru>

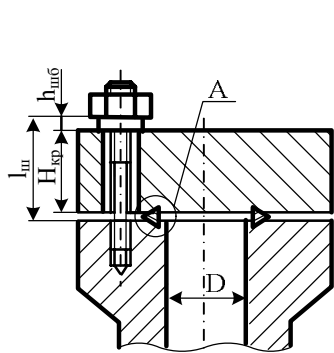


Рисунок В.5– Уплотнительное соединение с кольцом треугольного сечения

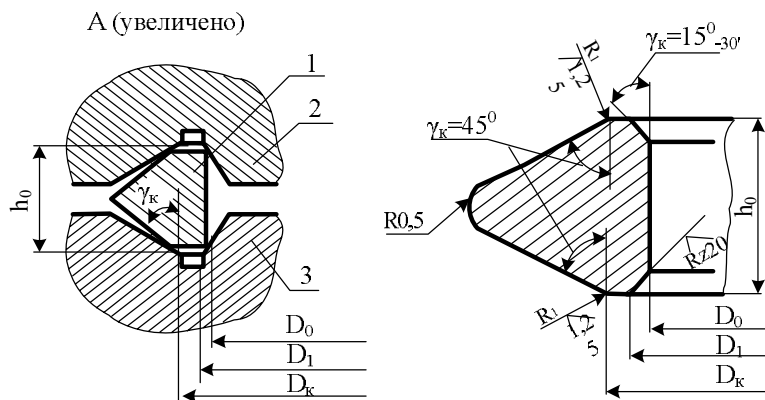


Рисунок В.6– Уплотнительное кольцо треугольного сечения

Таблица В.5 – Геометрические размеры уплотнительного кольца треугольного сечения (см. рисунки В.5, В.6)

В миллиметрах

D	D <sub>0</sub>	D <sub>κ</sub>	D <sub>1</sub>	h <sub>0</sub>
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	σ <sub>см</sub> , МПа
Алюминий	70
Медь	100,0
Сталь 05КП	122,6
Сталь 08Х13	122,6
Сталь 08Х18Н10Т	176,6
Монель-металл	152,5

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

В миллиметрах

Диаметр резьбы, d <sub>p</sub>	Диаметр стержня шпильки, d <sub>c</sub>	Длина резьбы гнезда корпуса, L <sub>2</sub>	Глубина гнезда под шпильку, L <sub>2</sub>	
			Исполнение I	Исполнение II
60	51,5	105	120	150
64	55,5	110	125	155
68	59,5	115	130	160

Окончание таблицы В.7

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
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

Примечание. 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 минус 70 до 600 °С)

Шпильки (болты)		Гайки		Шайбы	
Марка стали	ГОСТ	Марка стали	ГОСТ	Марка стали	ГОСТ
12X18H10T	5632-72	14X17A2	5632-74	ВСт 3	380-71
35X; 38XA	4543-71	35X; 40X	4543-71	15XM	4543-71
30XMA	4543-71	10Г2	4543-71	12X18H10T	5632-72
20XH3A	4543-71	25X1MФ	-	-	-
25X2M1Ф	-	-	-	-	-
20X1M1Ф1TP	ТУ14-1-552-72	-	-	-	-
45X19H14B2M	-	-	-	-	-
OX14M20B3T	-	-	-	-	-

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

Марка стали	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение поперечного сечения, %	Ударная вязкость, МДж/м <sup>2</sup>	Твердость, НВ
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