

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»)

Кафедра «Процессы и аппараты химических и пищевых производств»

Задание и методические указания
по выполнению контрольной работы
по дисциплине «Объекты сервиса нефтегазовой отрасли»
для студентов заочной формы сокращенной программы обучения
бакалавров по направлению подготовки 43.01.03 «Сервис»
профиля «Сервис в нефтегазовых комплексах»
(срок обучения ускоренный по индивидуальному плану)

Преподаватель, к.х.н., доц. Карев В.Н.

Волгоград 2018-2019 учебный год.

1. Общие сведения

При изучении курса «Объекты сервиса нефтегазовой отрасли» в рамках СРС студент очной формы обучения выполняет семестровую работу, а студент заочной формы обучения две контрольные работы, содержащую теоретические вопросы и задачи на основные тему – оборудование нефтегазовой отрасли.

В контрольной работе заданы **три теоретических вопроса** касающихся устройства, основах характеристик аппаратов, используемых в нефтегазовой отрасли

Кроме того, необходимо решить задачу на расчет стенки аппарата и его элементов, работающих под внутренним избыточным давлением (по вариантам).

Варианты контрольных заданий для второй контрольной студент-заочник находит по двум последним цифрам шифра своей студенческой книжки, пользуясь таблицей вариантов для теоретических вопросов и по номеру в журнале для расчетного задания

ЗАДАНИЯ

для выполнения контрольной работы по дисциплине “Объекты сервиса нефтегазовой отрасли” для студентов заочной формы обучения по специальности 43.03.01 профиля «Сервис в нефтегазовых комплексах» (срок обучения ускоренный по индивидуальному плану)

Контрольная включает в себя два задания. Первое задание включает в себя теоретические вопросы. Второе задание представляет собой расчетную задачу.

Задание 1. Рассмотреть устройство и принцип действия оборудования объектов сервиса нефтегазовой отрасли в соответствии с вариантом (табл.1.1)

Таблица 1.1 – Варианты контрольных заданий для второй контрольной студент-заочник находит по последней цифре шифра своей студенческой книжки, пользуясь таблицей вариантов.

Номер варианта	Номер задания	Номер задания	Номер задания
0	1	11	21
1	2	12	22
2	3	13	23
3	4	14	24
4	5	15	25
5	6	16	26
6	7	17	27
7	8	18	28
8	9	19	29
9	10	20	30

Вопросов для составления ответов соответствующего варианта контрольной работы (для табл. 1) по заданию 1

1. Аппараты воздушного охлаждения: устройство и принцип действия.
2. Вертикальные цельносварные аппараты с эллиптическими днищами: назначение, область применения, номинальные объемы и условные давления.
3. Газгольдеры постоянного объема: устройство и принцип действия.
4. Газосепараторы: устройство и принцип действия.
5. Горизонтальные цельносварные аппараты с эллиптическими днищами: область применения, назначение, номинальные объемы и условные давления.
6. Запорная арматура: устройство и принцип действия.
7. Какие способы перемешивания жидких сред применяют в нефтеперерабатывающей промышленности?
8. Какие типы мешалок применяются на производстве и каковы их характеристики?
9. Колонная аппаратура: основные элементы, общая характеристика. Привести схему колонны, состав конструкции и принцип работы.
10. Назначение реакционной аппаратуры в процессе нефтепереработки. Приведите пример одного из процессов и дайте описание реактора.
11. Оборудование насосных станций. Применяемые насосы на головных нефтеперекачивающих станциях магистральных нефтепроводов
12. Оборудование насосных станций. Насосы, применяемые на промежуточных нефтеперекачивающих станциях магистральных нефтепроводов.
13. Оборудование абсорбции. Конструкция многофункционального аппарата для очистки и осушки природного газа.
14. Основные конструкции печей крекинга и пиролиза. Основные элементы печей.
15. Основные типы вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.
16. Отстойники: устройство и принцип действия.

17. Песколовка и нефтеловушка
18. Привод компрессоров ГПА.
19. Сальники и торцовые уплотнения, бессальниковые приводы.
20. Сливно-наливные устройства для железнодорожных цистерн.
21. Тарельчатая колонна для атмосферной ректификации. Привести схему колонны, состав конструкции и принцип работы.
22. Теплообменное оборудование. Теплообменник кожухотрубчатый с плавающей головкой. Теплообменники кожухотрубчатый с U-образным трубным пучком. Устройство, область применения.
23. Теплообменное оборудование. Теплообменники типа «труба в трубе», область применения, преимущества и недостатки по сравнению с кожухотрубчатыми теплообменными аппаратами.
24. Трубные печи. Общие технические характеристики печей и их назначение для различных технологических процессов в нефтеперерабатывающей, нефтехимической и газовой промышленности.
25. Трубные печи. Краткое описание конструкции: камера конвекции, утилизатор дымовых газов (воздухоподогреватель, котел-утилизатор) и т.п.
26. Устройство и принцип действия реактора гидрокрекинга.
27. Устройство и принцип действия реакторов каталитического риформинга.
28. Устройство и принцип действия реакционных камер установок замедленного коксования.
29. Устройство и принцип действия кристаллизатора в установке депарафинизации масел. Особенности работы кристаллизаторов типа «труба в трубе».
30. Электродегидратор: назначение, принцип работы, устройство.

Объем ответов на три вопроса контрольной от 9 до 12 листов. Ответ должен быть лаконичным и содержательным.

Задание 2.

Для выполнения задания 2 контрольной работы приведен теоретический раздел для понимания из методического пособия [6]. Ниже сформулировано задание по вариантам и приведена методика выполнения работы.

1 РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННЫХ АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ВНУТРЕННИМ ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

1.1 Теоретическая часть

1.1.1 Общие сведения

В большинстве аппаратов основной рабочий объем ограничивается цилиндрической оболочкой, сделанной из листового материала, и только днище и крышка выполняются в виде части сферы, эллипса или конуса. Цилиндрические оболочки по металлоемкости, равномерности распределения напряжений и площади поверхности на единицу объема уступают только сферическим оболочкам, которые сложны и дороги в изготовлении.

Аппараты пищевых производств можно классифицировать следующим образом:

- по форме - цилиндрические, сферические, конические, торовые, прямоугольные и комбинированные;
- по расположению в пространстве - вертикальные, горизонтальные и наклонные;
- по материалу, из которого они изготовлены, - стальные, чугунные, алюминиевые, медные и т.д.;
- по назначению - для хранения и переработки;
- по способу изготовления - сварные, литые, паяные, клепанные и т.д.;
- по способу сборки - разъемные, неразъемные;
- по толщине стенки - тонкостенные, толстостенные;
- по схеме нагрузки - работающие под действием внутреннего или внешнего давления;
- по температуре стенки - не обогреваемые, обогреваемые и охлаждаемые;
- по воздействию среды - умеренная, средняя и интенсивная коррозия.

Предпочтение необходимо отдавать вертикальным цилиндрическим аппаратам, т.к. в их корпусе не возникают дополнительные напряжения изгиба от действия на аппарат сил тяжести как от продукта, находящегося в нем, так и самого аппарата. Кроме этого, эти аппараты занимают меньшие производственные площади, чем горизонтальные.

Аппарат считается тонкостенным, если соблюдается неравенство:

$$\delta \leq 0,1D_{\text{в}}, \quad (1.1)$$

где δ - толщина стенки аппарата, м;

$D_{\text{в}}$ - внутренний диаметр аппарата, м;

Такие аппараты эксплуатируются при расчетном давлении P_p не более 10 МПа. Для тонкостенных цилиндрических корпусов теплообменных аппаратов рекомендуется / 4 / неравенство $\delta \leq 0,03 D_\delta$ при $P_p = 6,4$ МПа.

Расчетное давление P_p , МПа определяется по формуле

$$P_p = P + P_r, \quad (1.2)$$

где P - рабочее давление, т.е. максимальное внутреннее избыточное давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса, без учета допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного клапана или другого предохранительного устройства, МПа;

P_r - гидростатическое давление среды, МПа.

Если отношение $P_r / P \leq 0,05$, то:

$$P_p = P. \quad (1.3)$$

При гидравлических испытаниях аппарата определяют максимальное избыточное давление, или иначе - пробное давление P_u . Госгортехнадзором / 2 / установлены следующие величины пробного давления P_u , МПа, для сосудов и аппаратов (кроме цельнолитых):

- при $P < 0,5$ МПа

$$P_u = 1,5P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (1.4)$$

но не менее 0,2 МПа; т.е.

$$P_u = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5P \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma]; \\ 0,2 \end{array} \right\}, \quad (1.5)$$

- при $P \geq 0,5$ МПа

$$P_u = 1,25P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (1.6)$$

но не менее $P_u = P + 0,3$, т.е.

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,25P \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}; P + 0,3 \right\}, \quad (1.7)$$

Для цельнолитых аппаратов независимо от рабочего давления $P_u = 1,5P \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma]$, но не менее 0,3 МПа, т.е.

$$P_u = \max \left\{ \frac{1,5P \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}; 0,3 \right\}, \quad (1.8)$$

где $[\sigma]_{20}$ и $[\sigma]$ - допускаемые напряжения для материала аппарата или его элементов соответственно при температуре 20°C и рабочей температуре.

Расчетная температура стенки t_p , °C, определяется на основе тепловых расчетов или результатов испытания. В случае невозможности проведения расчетов:

- при положительных температурах

$$t_p = t_c, \quad (1.9)$$

но не менее 20 °C,

где t_c - наибольшая температура среды, °C;

- при отрицательных температурах

$$t_p = 20 \text{ °C}.$$

Допускаемые напряжения:

- для рабочего состояния $[\sigma]$, МПа, при растяжении

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*, \quad (1.10)$$

где η - поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки;

σ^* - нормативное допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа.

- при гидравлическом испытании $[\sigma]_u$, МПа:

$$[\sigma]_{\text{н}} = \sigma_{T20} / 1,1, \quad (1.11)$$

где σ_{T20} - минимальное значение предела текучести при температуре $t_p = 20^\circ\text{C}$.

Нормативные допускаемые напряжения σ^* и минимальные значения предела текучести σ_{T20} приведены в приложении А (соответственно таблицы А1 - А4 и таблицы А5 - А9).

Нормативные допускаемые напряжения для сталей σ^* , МПа, можно определить по одной из трех формул:

$$\sigma^* = \frac{\sigma_T^t}{n_T}, \quad (1.12)$$

$$\sigma^* = \frac{\sigma_\epsilon^t}{n_\epsilon}, \quad (1.12)$$

$$\sigma^* = \frac{\sigma_D^t}{n_D}, \quad (1.13)$$

где σ_T^t - минимальный предел текучести при расчетной температуре, МПа;

n_T - коэффициент запаса прочности по пределу текучести: $n_T = 1,5$;

σ_ϵ^t - предел прочности при расчетной температуре, МПа;

n_ϵ - коэффициент запаса прочности по пределу прочности; $n_\epsilon = 2,4$;

σ_D^t - предел длительной прочности при расчетной температуре, МПа;

n_D - коэффициент запаса прочности по длительной прочности; $n_D = 1,5$.

Значения поправочного коэффициента η в зависимости от вида заготовки следующие:

- для листового проката $\eta = 1,0$;
- для отливки, подвергающейся индивидуальному контролю неразрушающими методами, $\eta = 0,8$;
- для отливки, неподлежащей индивидуальному контролю, $\eta = 0,7$;

1.1.2 Безмоментная теория оболочек

По безмоментной (мембранной) теории можно производить расчет тонкостенных оболочек, геометрически представляющих собой тело вращения, к которым, в частности, относятся цилиндрические корпуса, трубы и обечайки, а также сферические, эллиптические, конические крышки и днища аппаратов, роторы сепараторов и центрифуг. При этом допускается, что возникающие в оболочке напряжения равномерно распределяются по толщине её стенки. В этом случае оболочка не подвергается изгибу.

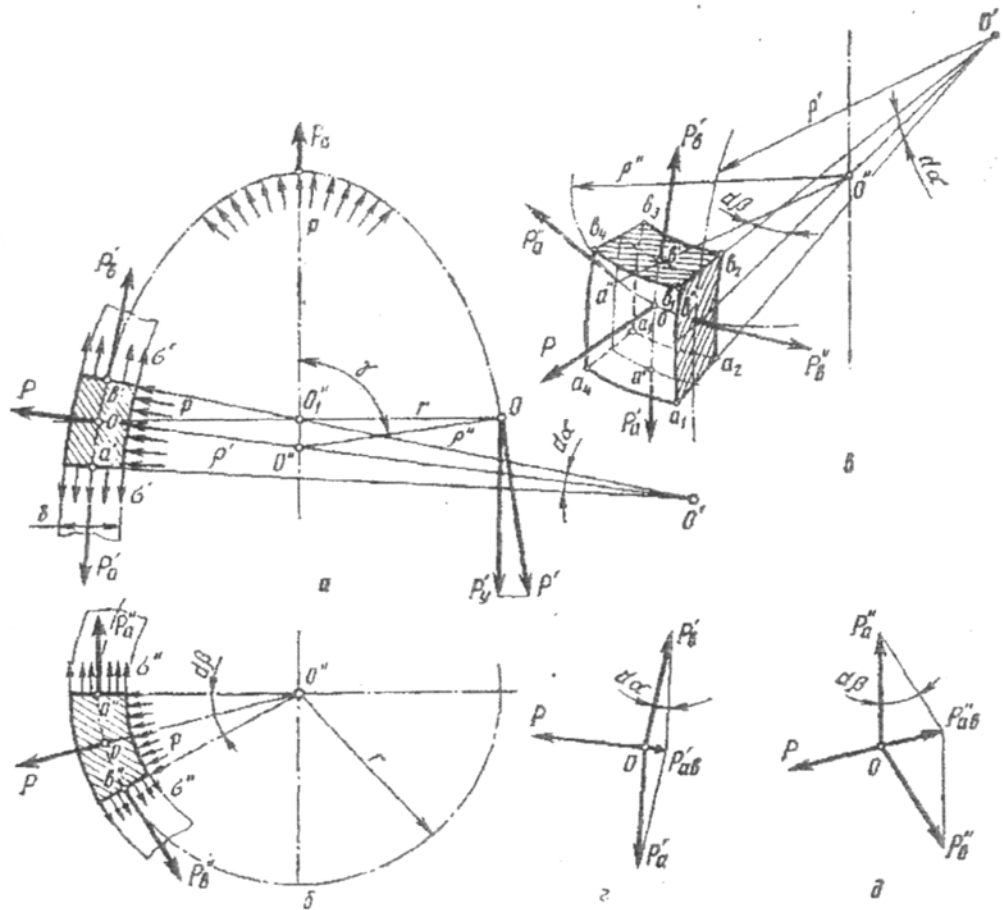
Возьмем для расчета часть оболочки вращения с вертикально расположенной осью (в соответствии с рисунком 1.1) и будем рассматривать только срединную поверхность этой оболочки, полагая, что все силы, действующие в оболочке, так или иначе приложены к этой поверхности. Выделим из оболочки бесконечно малый элемент, образованный двумя меридиональными сечениями в продольном направлении (в соответствии с рисунком 1.1,а) и двумя коническими сечениями, нормальными к поверхности оболочки в поперечном направлении (в соответствии с рисунком 1.1,б).

Обозначим через ρ' и ρ'' радиусы кривизны срединной поверхности выделенного элемента, σ - толщина стенки оболочки, r - радиус поперечного сечения оболочки, $a'b'$ и $a''b''$ - размеры выделенного элемента соответственно в меридиональном и окружном направлениях. Величина r имеет практическое значение, т.к. она характеризует размер аппарата в отличие от радиусов кривизны оболочки в двух взаимоперпендикулярных направлениях ρ' и ρ'' , которые показывают только свойства поверхности. Поэтому в дальнейшем в основные расчетные уравнения будет входить именно этот параметр.

Таким образом, размеры выделенного элемента оболочки определяются (в соответствии с рисунком 1.1,в) дугами $a'b'$ окружности радиуса ρ' с центром O' и $a''b''$ окружности радиуса ρ'' с центром O'' . Этим дугам соответствуют углы $d\alpha$ и $d\beta$.

Оболочка нагружена внутренним давлением P , поэтому возникающие в ней нормальные напряжения создают на краях элемента усилия P'_a и P'_b , приложенные соответственно в точках a' и b' , а также усилия P''_a и P''_b , приложенные соответственно в точках a'' и b'' . Кроме того, от давления P ,

действующего на элемент, возникает нормальное усилие ρ , приложенное в точке O .



а - схема действия усилий на элемент оболочки в продольном (меридиональном) направлении;

б - схема действия усилий на элемент оболочки в поперечном (коническом) сечении;

в - выделенный элемент оболочки;

г, д пучок сил, действующих на элемент оболочки соответственно в продольном сечении и в поперечном направлении.

Рисунок 1.1 - Схемы к расчету нагруженной оболочки

Уравнение равновесия выделенного элемента (в соответствии с рисунком 1.1, г, д) можно записать так:

$$P_{ab}' + P_{ab}'' = p, \quad (1.15)$$

Учитывая, что $P_a' = P_b'$ и $P_a'' = P_b''$, можно выразить P_{ab}' и P_{ab}'' как

$$P_{ab}' = P_b' \cdot \sin d\alpha, \quad (1.16)$$

$$P_{ab}'' = P_b'' \cdot \sin d\beta, \quad (1.17)$$

Обозначим напряжения, действующие по поперечным и продольным сечениям выделенного элемента оболочки соответственно через σ' и σ'' и определим усилия:

$$P_b' = \sigma' \cdot a''b'' \cdot \delta, \quad (1.18)$$

$$P_b'' = \sigma'' \cdot a'b' \cdot \delta, \quad (1.19)$$

Подставив выражения (1.18) и (1.19) соответственно в уравнения (1.16) и (1.17) и выразив синусы углов $d\alpha$ и $d\beta$ в виду их малости, как $a'b' / \rho'$ и $a''b'' / \rho''$, получим

$$P_{ab}' = \sigma' \cdot a''b'' \cdot \delta \cdot (a'b' / \rho'), \quad (1.20)$$

$$P_{ab}'' = \sigma'' \cdot a'b' \cdot \delta \cdot (a''b'' / \rho''), \quad (1.21)$$

Зная, что нормальное усилие ρ равно

$$\rho = P \cdot a''b'' \cdot a'b', \quad (1.22)$$

с учетом (1.20) и (1.21) уравнение (1.15) примет вид

$$\sigma' \cdot a'' \cdot b'' \cdot \delta \cdot \frac{a'b'}{\rho'} + \sigma'' \cdot a' \cdot b' \cdot \delta \cdot \frac{a''b''}{\rho''} = \rho \cdot a'' \cdot b'' \cdot a' \cdot b', \quad (1.23)$$

После преобразований получим равенство

$$\frac{\sigma'}{\rho'} + \frac{\sigma''}{\rho''} = \frac{p}{\delta}, \quad (1.24)$$

которое называют уравнением Лапласа.

Практическое использование этого уравнения оказывается невозможным, т.к. оно содержит две неизвестные величины - напряжения σ' и σ'' . Поэтому необходимо независимым образом определить одно из этих напряжений. Для получения второго уравнения рассечем имеющуюся оболочку конической плоскостью с вершиной в точке O'' (в соответствии с рисунком 1.1 ,а). Образующая конуса $O''O$ направлена по нормали к срединной поверхности оболочки и составляет с её осью некоторый угол γ .

В полученной кольцевой плоскости сечения оболочки действуют нормальные напряжения σ' .

Силу ρ' , действующую по плоскости сечения всей отсеченной части оболочки и равномерно распределенную по линии пересечения срединной поверхности с конической плоскостью, получим

$$\rho' = \sigma' \cdot 2\pi \cdot r \cdot \delta, \quad (1.25)$$

Осевая составляющая этой силы ρ'_y равна

$$\rho'_y = p \cdot \sin \gamma = \sigma' \cdot 2\pi \cdot r \cdot \delta \cdot \sin \gamma, \quad (1.26)$$

На отсеченную часть оболочки в осевом направлении действует также сила p_0 от внутреннего давления P , которая равна

$$p_0 = P \cdot \pi \cdot r^2, \quad (1.27)$$

Уравнение равновесия оболочки в осевом направлении имеет вид

$$\sigma' \cdot 2\pi \cdot r \cdot \delta \cdot \sin \gamma = P \cdot \pi \cdot r^2, \quad (1.28)$$

$\rho'_y = p_0$. С учетом (1.26) и (1.27) получим

Решая это уравнение относительно σ' , получим

$$\sigma' = \frac{P \cdot r}{2\delta \cdot \sin \gamma}, \quad (1.29)$$

или

$$\sigma' = \frac{P \cdot \rho''}{2\delta}, \quad (1.30)$$

т.к. $\rho'' = r / \sin \gamma$. Подставив выражение (1.30) в уравнение Лапласа (1.24) и сделав необходимые преобразования, можно получить значение второго напряжения:

$$\sigma'' = \frac{P \cdot \rho''}{\delta} \cdot \left(1 - \frac{0,5\rho''}{\rho'} \right), \quad (1.31)$$

Полученные уравнения можно использовать практически для нахождения напряжений в различных сечениях тонкостенных оболочек различной конфигурации. Например, для цилиндрической оболочки, у которой радиус кривизны в осевом направлении $\rho' = \infty$, а $\rho'' = r$, из уравнения (1.30) можно получить

$$\sigma' = \frac{P \cdot r}{2\delta}, \quad (1.32)$$

а из уравнения (1.31) получим

$$\sigma'' = \frac{P \cdot r}{\delta}, \quad (1.33)$$

Для сферической оболочки, у которой радиус кривизны есть радиус сферы R , т.е. $\rho' = \rho'' = R$. Тогда

$$\sigma' = \sigma'' = \frac{P \cdot R}{2\delta}, \quad (1.34)$$

или

$$\sigma' = \sigma'' = \frac{P \cdot r}{2\delta \cdot \sin \gamma}, \quad (1.35)$$

где r - радиус срединной поверхности основания сферы;

γ - угол раствора сферы.

Для конической оболочки с углом при вершине 2α угол $\gamma = 90^\circ - \alpha$, радиус кривизны в осевом направлении $\rho' = \infty$, а $\rho'' = r / \cos \alpha$, тогда

$$\sigma' = \frac{P \cdot r}{2\delta \cdot \cos \alpha}, \quad (1.36)$$

$$\sigma'' = \frac{P \cdot r}{\delta \cdot \cos \alpha}, \quad (1.37)$$

1.1.3 Расчет корпусов, крышек и днищ

Основные зависимости для расчета цилиндрических и конических обечаек, сферических и эллиптических оболочек, плоских крышек и днищ, работающих под внутренним избыточным давлением, получим на основе рассмотренной мембранной теории и материала, изложенного в / 5 / и / 3 /.

Цилиндрические обечайки и корпуса. Исполнительную толщину стенки δ , м, определяют по формулам:

$$\delta_p = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D_\varepsilon}{2\varphi \cdot [\sigma] - P_p}, \frac{P_u \cdot D_\varepsilon}{2\varphi \cdot [\sigma]_u - P_u} \right\}; \quad (1.38)$$

$$\delta = \delta_p + C + C_o, \quad (1.39)$$

где δ_p - расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки, м;

D_ε - внутренний диаметр обечайки, м;

C - прибавка к расчетной толщине стенки, учитывающая коррозию, м; можно принять $C = 0,001 \dots 0,003$ м;

C_o - прибавка на округление размера до стандартного значения /1/;

φ - коэффициент прочности сварного шва (Приложение Б).

При проектировании сварных стальных сосудов следует предусматривать сварку цилиндрических обечаек только стыкованными швами. Допускаются тавровые и угловые швы для приварки плоских днищ, фланцев, трубных решеток и других элементов (в соответствии с рисунком 1.2). При сварке встык элементов со стенками разной толщины необходимо обеспечивать плавное уменьшение кромки более толстой стенки, при этом угол наклона поверхностей перехода должен быть не более $15^\circ / 6 /$.

Допускаемое давление:

- в рабочем состоянии

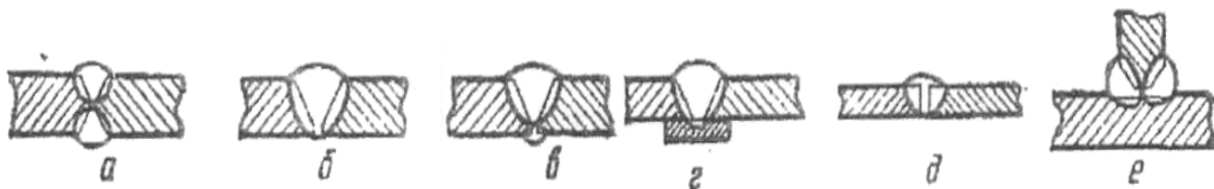
$$[P] = \frac{2\varphi \cdot [\sigma] \cdot (\delta - C)}{D_\varepsilon + \delta - C}; \quad (1.40)$$

при испытаниях

$$[P]_u = \frac{2\varphi \cdot [\sigma]_u \cdot (\delta - C)}{D_\delta + \delta - C}, \quad (1.41)$$

Формулы (1.38) - (1.41) применимы для сталей, алюминиевых и медных сплавов при $(\delta - C)/D_\delta \leq 0,1$;

для титановых сплавов $-(\delta - C)/D_\delta \leq 0,25$.



- а - стыковой с двусторонним проваром;*
б - односторонний стыковой;
в - односторонний стыковой с подваркой по вершине;
г - односторонний стыковой с подкладкой;
д - стыковой без разделки кромок;
е - тавровый двусторонний

Рисунок 1.2 - Основные сварные швы стальных сосудов

1.1.3.1 Конические обечайки с углом при вершине $2\alpha \leq 120^\circ$.

Исполнительную толщину стенки δ_κ , м, определяют по формулам:

$$\delta_{\kappa.p} = \max \left\{ \frac{\frac{P_p \cdot D_\delta}{(2\varphi \cdot [\sigma] - P_p) \cdot \cos \alpha}}{\frac{P_u \cdot D_\delta}{(2\varphi \cdot [\sigma]_u - P_u) \cdot \cos \alpha}} \right\}; \quad (1.42)$$

$$\delta_\kappa = \delta_{\kappa.p} + C + C_o, \quad (1.43)$$

где $\delta_{\kappa.p}$ - расчетная толщина стенки конической обечайки, м.

Допускаемое давление:

- в рабочем состоянии

$$[P] = \frac{2\varphi \cdot [\sigma] \cdot (\delta_\kappa - C) \cdot \cos \alpha}{D_\delta + (\delta_\kappa - C) \cdot \cos \alpha}, \quad (1.44)$$

- при испытаниях

$$[P]_u = \frac{2\varphi \cdot [\sigma]_u \cdot (\delta_\kappa - C) \cdot \cos \alpha}{D_\varepsilon + (\delta_\kappa - C) \cdot \cos \alpha}, \quad (1.45)$$

Формулы (1.42) - (1.45) применимы для сталей, алюминиевых и медных сплавов при $(\delta_\kappa - C)/D_\varepsilon \leq 0,1/\cos \alpha$; для титановых сплавов - $(\delta_\kappa - C)/D_\varepsilon \leq 0,25/\cos \alpha$.

Сферические оболочки. Исполнительную толщину стенки δ_c , м, определяют по формулам:

$$\delta_{c.p} = \max \left\{ \frac{\frac{P_p \cdot D_\varepsilon}{4\varphi \cdot [\sigma] - P_p}}{\frac{P_u \cdot D_\varepsilon}{4\varphi \cdot [\sigma]_u - P_u}} \right\}; \quad (1.46)$$

$$\delta_c = \delta_{c.p} + C + C_o, \quad (1.47)$$

где $\delta_{c.p}$ - расчетная толщина стенки сферической оболочки, м;

Допускаемое давление:

- в рабочем состоянии

$$[P] = \frac{4\varphi \cdot [\sigma] \cdot (\delta_c - C)}{D_\varepsilon + \delta_c - C}, \quad (1.48)$$

- при испытаниях

$$[P]_u = \frac{4\varphi \cdot [\sigma]_u \cdot (\delta_c - C)}{D_\varepsilon + \delta_c - C}, \quad (1.49)$$

Формулы (1.46) - (1.49) применимы для сталей, алюминиевых и медных сплавов при $(\delta_c - C)/D_\varepsilon \leq 0,1$.

Стандартные эллиптические крышки и днища. Исполнительную толщину стенки δ_{ε} , м, определяют по формулам:

$$\delta_{\varepsilon,p} = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D_{\varepsilon}}{2\varphi \cdot [\sigma] - 0,5P_p}, \frac{P_u \cdot D_{\varepsilon}}{2\varphi \cdot [\sigma]_u - 0,5P_u} \right\}; \quad (1.50)$$

$$\delta_{\varepsilon} = \delta_{\varepsilon,p} + C + C_o, \quad (1.51)$$

где $\delta_{\varepsilon,p}$ - расчетная толщина стенки эллиптического днища (крышки), м.

Допускаемое давление:

- в рабочем состоянии

$$[P] = \frac{2\varphi \cdot [\sigma] \cdot (\delta_{\varepsilon} - C)}{D_{\varepsilon} + 0,5(\delta_{\varepsilon} - C)}, \quad (1.52)$$

- при испытаниях

$$[P]_u = \frac{2\varphi \cdot [\sigma]_u \cdot (\delta_{\varepsilon} - C)}{D_{\varepsilon} + 0,5(\delta_{\varepsilon} - C)}, \quad (1.53)$$

Формулы (1.50) - (1.53) применимы для сталей, алюминиевых и медных сплавов при $(\delta_{\varepsilon} - C)/D_{\varepsilon} \leq 0,1$; для титановых сплавов - $(\delta_{\varepsilon} - C)/D_{\varepsilon} \leq 0,25$.

Плоские днища и крышки. Исполнительную толщину δ_n , м, определяют по формулам:

$$\delta_n = \max \left\{ \left(\frac{K}{K_0} \right) \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\varphi[\sigma]}}, \left(\frac{K}{K_0} \right) \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_u}{\varphi[\sigma]_u}} \right\}, \quad (1.54)$$

$$\delta_n = \delta_{n,p} + C + C_o, \quad (1.55)$$

где $\delta_{n.p}$ - расчетная толщина плоского днища (крышки), м;

K - коэффициент, учитывающий тип закрепления днища или крышки; принимают в соответствии с таблицей 1.1;

K_0 - коэффициент ослабления, зависящий от количества отверстий в днище (крышке) и их расположения; при одном отверстии $K_0 = 1$; при двух и более отверстиях

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \sum (d_i / D_p)^3}{1 - \sum d_i / D_p}}, \quad (1.56)$$

где d_i - диаметр i -го отверстия, м; при этом отверстия для болтов в расчет не принимаются;

i - порядковый номер отверстия;

D_p - расчетный диаметр, м; принимают в соответствии с таблицей 1.1.

Допускаемое давление:

• в рабочем состоянии

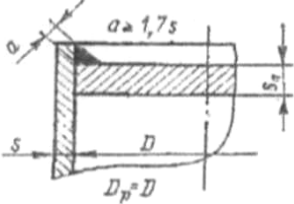
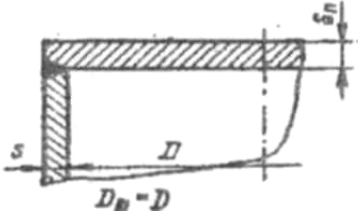
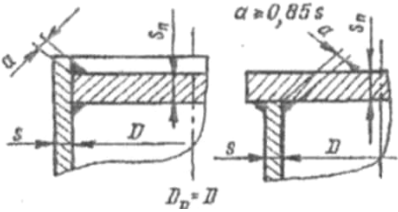
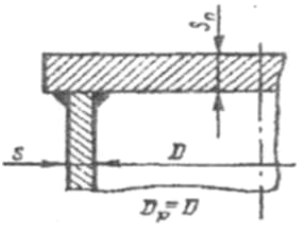
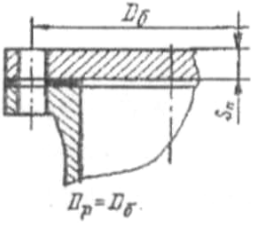
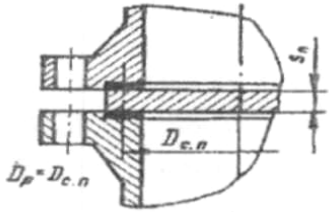
$$[P] = \frac{(\delta_n - C)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)^2}, \quad (1.57)$$

• при испытаниях

$$[P]_u = \frac{(\delta_n - C)^2 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi}{(K \cdot K_0 \cdot D_p)^2}, \quad (1.58)$$

Формулы (1.54), (1.55), (1.57) и (1.58) применимы при условии $(\delta_n - C) / D_p \leq 0,1$.

Таблица 1.1 - Коэффициент K и расчетный диаметр D_p плоских днищ (крышек).

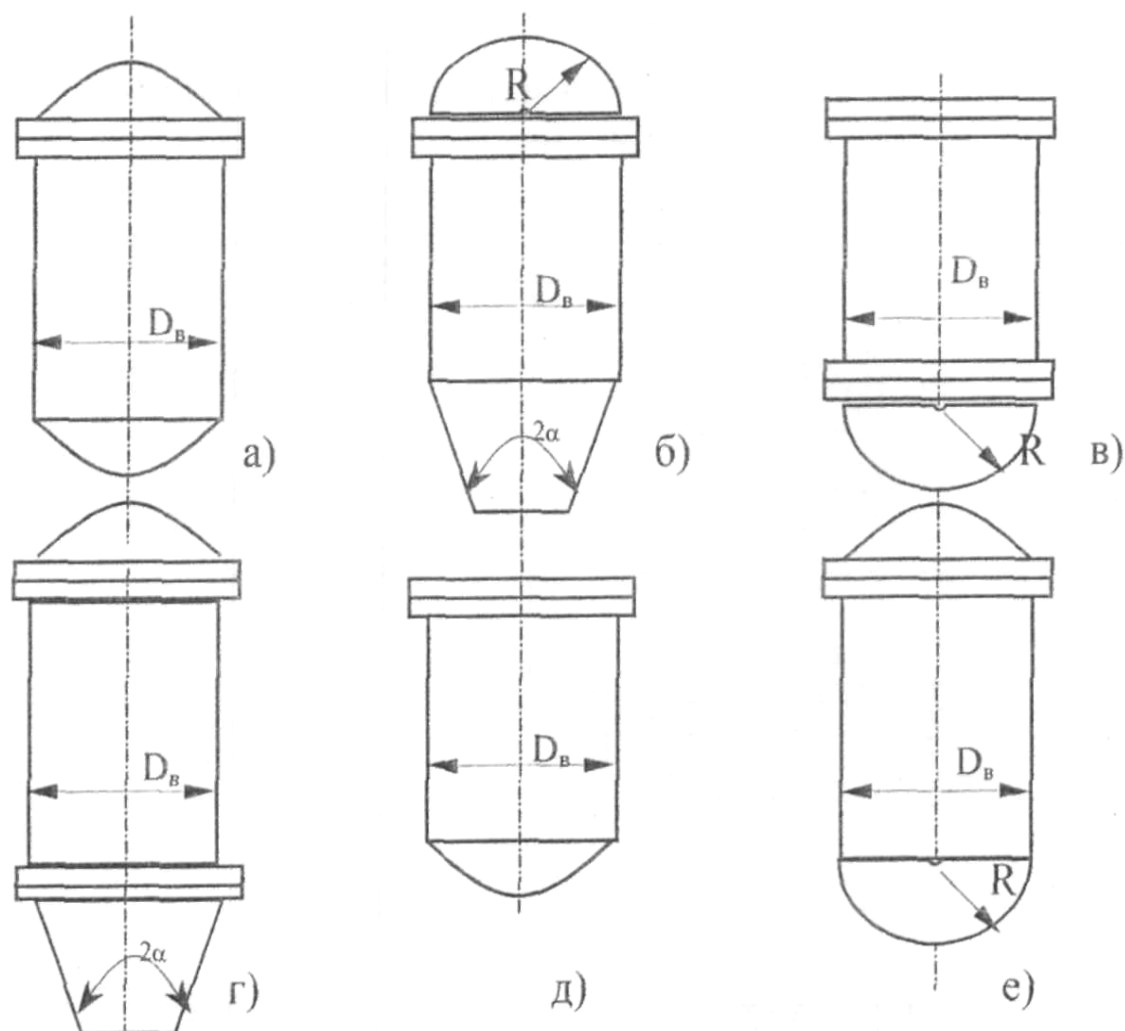
Тип днища	Эскиз соединения	К	Тип днища	Эскиз соединения	К
1		0,53	4		0,45
2		0,50	5		0,41
3		0,40	6		0,41

Задание 2. Расчетно-практическая работа

Расчет толщины стенки аппарата и его элементов, находящихся под внутренним избыточным давлением

Цель работы: приобретение навыков расчета цилиндрических обечайки аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением.

Задание: определить толщину стенок цилиндрической обечайки, крышки и днища вертикального аппарата, работающего под внутренним избыточным давлением, если заданы: внутренний диаметр обечайки аппарата $D_в$, м; избыточное давление в аппарате P , МПа; отношение гидростатического давления среды к избыточному давлению $P_с / P$; температура продукта t_c , С°; материал обечайки и днища - сталь 12Х18Н10Т (листовой прокат); расчетная схема аппарата выбирается по рисунку 1.3 в соответствии с вариантом (таблица 1.2).



- а - эллиптическая крышка и днище;
 б - сферическая крышка и коническое днище;
 в - плоская крышка и сферическое днище;
 г - эллиптическая крышка и коническое днище;
 д - плоская крышка и эллиптическое днище;
 е - эллиптическая крышка и сферическое днище

Рисунок 1.3 - Расчетные схемы аппаратов

Исходные данные для расчета взять из таблицы 1.2 в соответствии с вариантом задания.

Таблица 1.2 - Варианты индивидуальных заданий (по номеру в журнале)

Номер варианта	D_g , м	P , МПа	P_z / P	t_c , С°	Вариант схемы	2α , град	Тип днища (крышки)	Марка стали (крышки)
1	0,5	2,6	0,010	200	а	-	-	В Ст3 сп
2	0,6	2,5	0,015	195	а	-	-	10
3	0,8	2,4	0,020	190	а	-	-	20
4	1,0	2,3	0,025	185	а	-	-	16ГС
5	1,2	2,2	0,030	180	а	-	-	12Х18Н10Т
6	1,4	2,1	0,035	175	б	120	-	В Ст3 сп
7	1,6	2,0	0,040	170	б	110	-	10
8	1,8	1,9	0,045	165	б	100	-	20
9	2,0	1,8	0,050	160	б	90	-	16ГС
10	2,2	1,7	0,055	155	б	80	-	12Х18Н10Т
11	0,5	4,0	0,010	150	в	-	1	В Ст3 сп
12	0,5	3,5	0,015	145	в	-	2	10
13	0,6	3,0	0,020	140	в	-	3	20
14	0,8	2,8	0,025	135	в	-	4	16ГС
15	0,8	2,6	0,030	130	в	-	5	12Х18Н10Т
16	1,4	2,4	0,035	125	г	115	-	В Ст3 сп
17	1,6	2,3	0,040	120	г	105	-	10
18	1,8	2,2	0,045	115	г	95	-	20
19	2,0	2,1	0,050	110	г	85	-	16ГС
20	2,2	2,0	0,060	105	г	80	-	12Х18Н10Т
21	0,6	1,5	0,025	100	д	-	1	В Ст3 сп
22	0,8	1,2	0,030	95	д	-	2	10
23	1,0	0,8	0,035	90	д	-	3	20
24	1,0	0,8	0,040	85	д	-	4	16ГС
25	1,2	0,5	0,055	80	д	-	5	12Х18Н10Т
26	1,8	1,6	0,050	75	е	-	-	В Ст3 сп
27	2,0	1,3	0,055	70	е	-	-	10
28	2,2	1,0	0,060	65	е	-	-	20
29	2,6	0,5	0,105	60	е	-	-	16ГС
30	2,8	0,4	0,110	55	е	-	-	12Х18Н10Т

Методика расчета

➤ Расчет цилиндрической обечайки

1 Определить расчетную температуру стенки аппарата t_p , °С, по равенству (1.9). Начертить расчетную схему аппарата.

2 Рассчитать допускаемое напряжение в рабочем состоянии $[\sigma]$, МПа, для стали 12Х18Н10Т при температуре t_p , °С, по формуле (1.10). Нормативное допускаемое напряжение σ^* , МПа, взять из таблицы А1 (Приложение А) при расчетной температуре t_p , °С; оно может быть определено по одной из формул (1.12) - (1.14).

3 Рассчитать допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях $[\sigma]_u$, МПа, по формуле (1.11). Минимальное значение предела текучести σ_{T20} , МПа, при $t_p = 20$ °С взять из таблицы А5 (Приложение А).

4 Расчетное значение внутреннего избыточного давления P_p , МПа, определить из условия (1.2) или (1.3).

5 Рассчитать пробное давление P_u , МПа, при гидравлических испытаниях по формулам (1.5), (1.7) или (1.8) в зависимости от способа изготовления аппарата и рабочего давления P МПа. Допускаемое напряжение $[\sigma]_{20}$, МПа, для стали 12Х18Н10Т определить по формуле (1.10) при $t_p = 20$ °С, взяв нормативное допускаемое напряжение σ_{20}^* , МПа, из таблицы А1 (Приложение А) или рассчитав его по формуле (1.12).

6 Определить расчетную и исполнительную толщины стенки цилиндрической обечайки соответственно по формулам (1.38) и (1.39). Коэффициент прочности сварного шва φ взять из таблицы Б1 (Приложение Б). Прибавку к расчетной толщине на коррозию C , м, принять равной 0,001 м.

Округлить полученную исполнительную толщину стенки δ , м, до ближайшего большего стандартного значения по таблице В1 (Приложение В).

7 Проверить применимость формул (1.38) и (1.39) по условию

$$(\delta - C) / D_g \leq 0,1$$

8 Сделать выводы по результатам расчетов.

♦ *Расчет конического днища с углом при вершине $2\alpha \leq 120^\circ$*

1 Определить расчетную и исполнительную толщину конического днища соответственно по формулам (1.42) и (1.43). Принять прибавку на коррозию $C = 0,001$ м. Полученную исполнительную толщину конического днища округлить до ближайшей большей стандартной величины. Здесь и далее при определении толщины стенки днища или крышки необходимые параметры брать из предыдущего расчета (см. Расчет цилиндрической обечайки).

1 Проверить применимость формул (1.42) и (1.43) по условию

$$(\delta_k - C) / D_g \leq 0,1 / \cos \alpha .$$

2 Сделать выводы по результатам расчетов.

♦ *Расчет сферического днища*

1 Определить расчетную и исполнительную толщину сферического днища соответственно по формулам (1.46) и (1.47). Принять прибавку на коррозию $C = 0,001$ м. Коэффициент прочности сварного шва $\varphi = 1$, т.к. сварные швы отсутствуют. Полученную исполнительную толщину стенки днища округлить до ближайшего большего стандартного значения.

2 Проверить применимость формул (1.46) и (1.47) по условию

$$(\delta_c - C) / D_g \leq 0,1 .$$

3 Сделать выводы по результатам расчетов.

♦ *Расчет стандартного эллиптического днища (крышки)*

1 Если эллиптическое днище или крышка изготовлены из легированной стали марки 12X18Н10Т, то необходимо определить расчетную и исполнительную толщину стандартного эллиптического днища (крышки) соответственно по формулам (1.50) и (1.51). При этом прибавка на коррозию $C = 0,001$ м. Полученную исполнительную толщину стенки днища необходимо округлить до ближайшего большего стандартного значения.

2 Проверить применимость формул (1.50) и (1.51) по условию

$$(\delta_{\varepsilon} - C) / D_g \leq 0,1 .$$

3 Сделать выводы по результатам расчетов.

Если эллиптическая крышка выполнена из стали другой марки, то расчет ведется в следующем порядке:

4 Принять $t_p = t_c$;

5 Рассчитать допускаемое напряжение в рабочем состоянии $[\sigma]$, МПа, для марки стали, указанной в задании (таблица 1.2) при расчетной температуре по формуле (1.10). Нормативное допускаемое напряжение σ^* , МПа, взять из таблицы А1 (Приложение А) при расчетной температуре или определить по формуле (1.12), взяв минимальное значение предела текучести σ_T^t , МПа, при расчетной температуре из таблицы А5 (Приложение А). Поправочный коэффициент $\eta = 1$, т.к. для изготовления эллиптической крышки используется листовой прокат.

6 Рассчитать допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях $[\sigma]_u$, МПа, по формуле (1.11). Минимальное значение предела текучести σ_{T20} , МПа, при $t_p = 20^\circ\text{C}$ взять из таблицы А5 (Приложение А).

7 Расчетное значение внутреннего избыточного давления P_p , МПа, определить из условия (1.3).

8 Рассчитать пробное давление P_u , МПа, при гидравлических испытаниях по формулам (1.5), (1.7) или (1.8) в зависимости от способа изготовления крышки и рабочего давления P , МПа (таблица 1.2). Допускаемое напряжение $[\sigma]_{20}$, МПа, для конкретной марки стали (таблица 1.2) определить по формуле (1.10) при $t_p = 20^\circ\text{C}$, взяв нормативное допускаемое напряжение σ_{20}^* , МПа, из таблицы А1 (Приложение А) или рассчитав его по формуле (1.12).

9 Найти расчетную и исполнительную толщины стенки эллиптической стандартной крышки соответственно по формулам (1.50) и (1.51). Коэффициент прочности сварного шва ϕ принять равным 1, т.к. сварной шов отсутствует. Принять прибавку на коррозию $C = 0,001$ м. Округлить полученную исполнительную толщину стенки δ_s , м, до ближайшего большего стандартного значения.

10 Проверить применимость формул (1.50) и (1.51) по условию

$$(\delta_s - C) / D_g \leq 0,1.$$

♦ Расчет плоского днища (крышки)

Если плоская крышка (днище) изготовлена из стали 12X18H10T, то необходимо:

1 Определить расчетную и исполнительную толщины плоского днища (крышки) соответственно по формулам (1.54) и (1.55). Расчетный

диаметр D_p , м, и коэффициент k взять из таблицы 1.1 с учетом типа днища (таблица 1.2).

Днище (крышка) имеет одно центральное отверстие.

Принять $C = 0,001$ м; коэффициент $\varphi = 1$ (сварных швов нет).

Полученную исполнительную толщину стенки округлить до ближайшего большего стандартного значения.

2 Проверить применимость формул (1.54) и (1.55) по условию

$$(\delta_n - C) / D_\phi \leq 0,1.$$

Если плоская крышка изготовлена из стали другой марки, то определяются расчетная и исполнительная толщины крышки в порядке, изложенном выше, с использованием параметров, полученных при расчете стандартной эллиптической крышки (днища) (см. Расчет стандартного эллиптического днища (крышки), пункты 4-8).

3 Сделать вывод по результатам расчетов.

Контрольные вопросы

1 Приведите классификацию аппаратов, используемых в пищевой промышленности.

2 Какие аппараты относятся к тонкостенным? При каких условиях они эксплуатируются?

3 Как определяется расчетное давление для аппаратов, находящихся под внутренним избыточным давлением?

4 Что такое пробное давление и как оно определяется?

5 Как можно определить расчетную температуру стенки аппарата?

6 Для каких режимов определяется допускаемое напряжение? Напишите соответствующие зависимости для их определения.

7 Как определить толщину стенки следующих элементов тонкостенного аппарата, работающего под внутренним избыточным давлением:

- цилиндрического корпуса;
- конического днища;
- стандартного эллиптического днища (крышки);
- сферического днища (крышки);
- плоского днища (крышки).

Порядок оформления контрольной работы

Контрольная работа включает в себя:

- титульный лист;
- содержание;
- ответы на теоретические вопросы в соответствии с табл. 1.1;
- расчетная часть, в которой приводится расчет цилиндрической обечайки, днища и крышки, находящихся под внутренним избыточным давлением, в соответствии с вариантом (таблица 1.2).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Нормативное допускаемое напряжение и минимальное значение предела текучести для некоторых конструкционных материалов

Таблица А1 - Нормативное допускаемое напряжение σ^* для сталей, МПа

Рас- четная тем- пера- тура стен- ки, t °С	Марка стали									
	ВСтЗпс ВСтЗГпс	10	20 20К	09Г2С 16ГС	12ХМ 12МХ*	15ХМ*	15Х5М	12Х18Н10Т 12Х18Н12Т 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т 08Х18Н12Т	08Х17Н13М2Т 08Х17Н15М3Т
20	140	130	147	170	147	155	146	160	140	133
100	134	125	142	160	-	-	141	152	130	130
150	131	122	139	154	-	-	138	146	120	120
200	126	118	136	148	145	152	134	140	115	115
250	120	112	132	145	145	152	127	136	110	110
300	108	100	119	134	141	147	120	130	100	100
350	98	88	106	123	137	142	114	126	91	91
375	93	82	98	116	135	140	110	124	89	89
* При $t < 200$ °С стали марок 12ХМ, 12МХ, 15ХМ применять не рекомендуется										

Таблица А2 - Нормативное допускаемое напряжение σ^* для алюминиевых сплавов, МПа

Расчетная температура стенки, t °С	Марка алюминиевых сплавов				
	А85М А8М*	АД00М АД0М АД1М	АМцСМ	АМг2М АМг3М	АМг5М АМг6М
20	17	17,0	34,0	48,5	74
30	17	16,7	33,4	48,5	73,9
40	16	16,2	32,7	48,5	73,6
50	16	16,0	32,0	48,5	73,0
60	15	15,6	31,3	48,1	72,1
70	15	15,3	30,5	47,6	70,9
80	14	14,9	29,7	46,8	69,4
90	14	14,5	28,5	45,6	67,0
100	13	14,0	27,0	44,0	64,0
110	13	13,5	25,3	42,1	60,4
120	13	12,9	23,3	39,8	56,2
130	12	12,3	21,1	37,2	51,4
140	11	11,7	18,7	34,3	46,0
150	11	11,0	16,0	31,0	40,0
* Для толщин не более 30 мм					

Таблица А3 - Нормативное допускаемое напряжение σ^* для меди и ее сплавов при толщине стенки от 3 до 10 мм, МПа

Расчетная температура стенки, t °С	Марка меди и сплава					
	М2	М3	М3р	ЛО62-1	Л63 ЛС59-1	ЛЖМц59-1-1
20	51,5	53,8	54,3	108	70,0	136,0
30	50,8	52,0	53,3	108	69,5	135,5
40	50,1	50,4	52,2	107	69,0	133,7
50	49,3	49,0	51,2	106	68,3	132,0
60	48,7	47,8	50,2	105	67,5	130,2
70	47,9	46,8	49,2	104	66,8	128,5
80	47,3	45,9	48,3	103	66,1	126,9
90	46,4	45,2	47,3	102	65,4	125,5
100	45,9	44,5	46,4	100,5	64,7	124,0
110	45,3	44,0	45,5	99,7	63,9	122,5
120	44,7	43,5	44,6	98,7	63,2	121,9
130	44,0	43,0	43,7	97,5	62,4	121,0
140	43,4	42,5	42,9	96,5	61,5	120,6
150	42,8	42,1	42,1	95,5	60,0	119,7
160	42,2	41,6	41,3	94,4	58,0	118,8
170	41,6	41,1	40,4	93,4	56,0	117,0
180	41,0	40,5	39,7	93,3	54,0	114,4
190	40,4	39,8	38,9	92,5	52,0	111,0
200	39,8	39,0	38,1	90,0	50,0	105,8
210	-	38,0	36,9	80,0	46,0	96,6
220	-	36,9	35,8	70,0	42,0	85,2
230	-	35,7	34,7	60,0	38,0	69,0
240	-	34,2	33,6	50,0	34,0	51,0

Таблица А4 - Нормативное допускаемое напряжение σ для титана и его сплавов при толщине стенки до 60 мм, МПа

Марка титана	Расчетная температура, t °С						
	20	100	200	250	300	350	400
BT 1-0	141	129	107	95	86	-	-
OT4-0	184	159	128	115	98	95	93
AT3	230	202	171	164	159	145	-
Примечание - Для прутков и поковок нормативное допускаемое напряжение уменьшается в 1,15 раза.							

Таблица А5 - Минимальное значение предела текучести σ_T для сталей, МПа

Расчетная температура стенки, $t^{\circ}\text{C}$	Марка стали								
	ВСтЗпс ВСтЗГпс	10	20 20К	09Г2С 16ГС	12ХМ 12МХ 15ХМ	15ХМ	12Х18Н10Т 12Х18Н12Т 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т 08Х18Н12Т	08Х17Н13М2Т 08Х17Н15М3Т
20	210	195	220	280	240	220	240	210	200
100	201	188	213	240	235	210	228	195	195
150	197	183	209	231	226	207	219	180	
200	189	177	204	222	218	201	210	173	
250	180	168	198	218	218	190	204	165	
300	162	150	179	201	212	180	195	150	
350	147	132	159	185	206	171	190	137	
375	140	123	147	174	202	164	186	133	
400	-	-	-	158	198	158	181	129	
410	-	-	-	156	195	155	180	128	
420	-	-	-	138	194	152	180	128	

Таблица А6 - Предел текучести σ_T и предел прочности σ_{σ} титана и его сплавов (листовой прокат до 60 мм), МПа

Температура, $t^{\circ}\text{C}$	Механические свойства титана марки					
	BT1-0		OT4-0		AT3	
	σ_T	σ_{σ}	σ_T	σ_{σ}	σ_T	σ_{σ}
20	310	380	400	480	540	600
100	260	335	330	415	475	528
200	210	280	240	333	402	447
250	190	250	200	300	387	430
300	175	225	180	255	374	415
350	-	-	160	250	340	379
400	-	-	150	245	-	-

Таблица А7 - Предел текучести σ_T и предел прочности σ_ϵ , алюминия и его сплавов (листовой прокат не более 60 мм), МПа

Температура t °C	Механические свойства алюминия марки											
	А85М*; А8М*		АД00М; АД0М; АД1М		АМцСМ		АМг2М; АМг3М		Амг5М		Амг6М	
	σ_T	σ_ϵ	σ_T	σ_ϵ	σ_T	σ_ϵ	σ_T	σ_ϵ	σ_T	σ_ϵ	σ_T	σ_ϵ
20	24	60	30	60	50	120	70	170	110	260	130	280
30	24	58	29,7	58,7	49,1	118	70	170	107,8	258,5	130	280
40	23	56	29,4	57,5	48,3	116,1	70	170	105,5	257,5	130	280
50	23	55	29,2	56,3	47,4	115	70	170	103,2	257	130	280
60	23	53	29	55,2	46,5	113,5	70	170	100,8	256,9	130	280
70	22	52	28	54,1	45,6	112	70	170	98,3	256	130	280
80	22	50	27,5	53	44,6	110	70	170	95,7	255	130	280
90	22	49	27	51,6	43,8	107,7	70	170	93,7	253	130	280
100	22	47	26,7	50	43	105	70	170	92	252	130	280
110	21	45	26,2	48,2	42,3	101,8	68,4	168,1	90,5	246,6	130	272,3
120	21	44	26	46,2	41,6	98,3	66,4	165,5	89,3	239,6	130	262,1
130	21	42	25,7	44	41	94,3	63,8	162,3	88,3	231,2	130	249,3
140	20	40	25,2	41,6	40,5	89,8	60,6	158,5	87,5	221,4	130	233,9
150	20	39	25	39	40	85	57	154	87	210	130	216
*Для А85М и А8М механические свойства приведены для толщин не более 30 мм												

Таблица А8 - Предел текучести σ_T и предел прочности σ_ϵ меди и ее сплавов (листовой прокат от 3 до 10 мм), МПа

Температура t °C	Механические свойства меди марки					
	М2		М3		МЗ _р	
	σ_T	σ_ϵ	σ_T	σ_ϵ	σ_T	σ_ϵ
20	77,3	217,4	80,7	218	81,5	218,6
30	76,2	214,1	78,6	214,8	79,9	215,5
40	75,1	210,9	76,7	211,7	78,4	212,4
50	74	207,7	74,9	208,6	76,8	209,3
60	73	204,6	73,3	205,5	75,3	206,3
70	71,9	201,5	71,8	202,5	73,9	203,4
80	70,9	198,4	70,5	199,5	72,4	200,5
90	69,9	195,4	69,2	196,6	71	197,6
100	68,9	192,5	68,1	193,7	69,6	194,8
110	67,9	189,6	67	190,9	68,3	192
120	67	186,7	66	188,1	66,9	189,2
130	66	183,9	65	185,3	65,6	186,5
140	65,1	181,1	64,1	182,6	64,4	183,9
150	64,2	178,4	63,2	179,9	63,1	181,2
160	63,3	175,7	62,3	177,3	61,9	178,6
170	61,9	173,1	61,4	174,7	60,7	176,1
180	60,2	170,5	60,4	172,1	59,5	173,6
190	58,5	167,9	59,4	169,6	58,3	171,1
200	57	165,4	58,4	167,1	57,2	168,6
210	55,6	162,9	57,3	164,7	56,1	166,2
220	54,4	160,4	56,1	162,2	55	163,8
230	53,4	158,0	54,8	159,9	53,9	161,5
240	52,7	155,6	53,4	157,5	52,9	159,2
250	52,3	153,3	51,8	155,2	155,9	155,9

Таблица А9 - Предел текучести σ_T и предел прочности σ_σ латуни
(листовой прокат от 3 до 10 мм), МПа

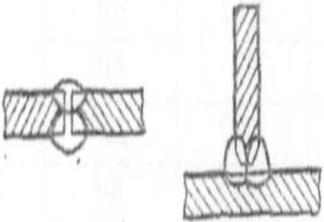
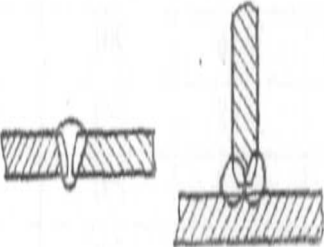
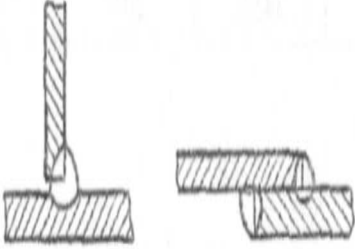
Темпе-ратура t °C	Механические свойства латуни марки					
	Л63; ЛС59-1		ЛО62-1		ЛЖМц59-1-1	
	σ_T	σ_σ	σ_T	σ_σ	σ_T	σ_σ
20	105	340,4	163	408,9	204	503,5
30	103,8	339,2	162,7	405,7	202,3	496,7
40	102,6	338	161	402,5	201,4	489
50	101,4	336,9	159,3	399,4	201	481,3
60	100,2	335,7	157,6	396,3	201	473,8
70	98,8	333,8	155,9	393,2	201	466,4
80	97,6	331,5	154,3	390,2	201	459,2
90	96,4	329,2	152,7	387,2	201	452
100	95,2	326,5	151	384,2	201	445
110	94	324,2	149,5	381,2	201	438
120	93	322	147,9	378,2	201	431,1
130	92	319,7	146,3	375,3	201	424,4
140	91	317,8	144,8	372,4	201	421
150	90	316	143,2	369,5	201	419
160	89,2	314,2	141,7	366,6	201	411
170	88,5	312,7	140,2	363,8	201	401,5
180	87,7	311	138,8	360,9	201	398,5
190	87	308,5	137,3	358,1	201	386,1
200	86,5	307	135,8	355,4	201	370,3
210	85,9	301	134,4	352,6	201	369
220	85,2	294	133	349,9	201	366
230	84,5	286,5	131,6	347,1	201	362,6
240	83,8	279	130,2	344,4	201	359,5
250	83,2	272	128,8	341,8	201	355

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Коэффициент прочности сварных швов стальных аппаратов

Таблица Б1 - Коэффициент прочности φ сварных швов стальных аппаратов

Конструкция шва	Способ сварки	Коэффициент φ
	Автоматическая дуговая электросварка	1
	Ручная дуговая электросварка	0,95
		0,9
		0,8

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Размеры стальных горячекатаных и холоднокатаных листов

Таблица В1 - Размеры стальных горячекатаных листов (ГОСТ 19903-74)

Толщина листов, мм [*]	Максимальная и минимальная длина листов (м) при ширине, м						
	0,7	1,0	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0 и 3,6
0,5 – 0,9	1,42	-	-	-	Предусматривается толщина листов до 160 мм, другие ширины и интервалы длин для толщин 0,5 - 160 мм, а также листы определенных (складских) размеров толщиной 0,5 - 160 мм		
1,0	1,42	2,0	-	-			
1,2-1,4	2,0	2,0	-	-			
1,5-1,8	2,0	2,0-6,0	2,0-6,0	-			
2,0-2,8	2,0-6,0	2,0-6,0	2,0-6,0	-			
3-5	2,0-6,0	2,0-6,0	2,0-6,0	2,0-6,0			
6-7	2,0-6,0	2,0-6,0	2,0-6,0	2,0-6,0	2,0-6,0	-	-
8-10	2,0-6,0	2,0-6,0	2,0-6,0	3,0-12,0	3,0-12,0	-	-
11-12	-	2,0-6,0	2,0-6,0	4,0-9,0	4,0-9,0	4,0-9,0	-
13-25	-	3,0-6,5	3,0-6,5	4,0-9,0	4,0-9,0	4,0-9,0	-
26-40	-	3,5-12,0	3,5-2,0	3,5-2,0	4,0-1,0	4,0-11,0	3,6 - 9,5
42-100	-	-	3,5-9,0	3,5-9,0	3,5-9,0	-	3,5 - 8,0
[*] Толщину листов в указанных пределах брать из ряда: 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5 -22 (каждый миллиметр); 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 52; 55 -100 (через каждые 5 мм).							

Таблица В2 - Размеры стальных холоднокатаных листов (ГОСТ 19904-74)

Толщина листов, мм*	Минимальная и максимальная толщина листов (м) при ширине, м									
	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,4	1,5	1,8	2,0 и 3,0
0.5	1,0 2,5	1,4 2,5	1,5 2,5	1,5 3,0	1,5 3,0	- -	- -	- -	- -	- -
0.55 - 0.65	1,0 2,5	1,4 2,5	1,5 2,5	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	- -	- -	- -	- -
0,70;0,75	1,0 2,5	1,4 2,5	1,5 2,5	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	2,0 4,0	- -	- -	- -
0,8-1,0	1,0 3,0	1,4 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 4,0	2,0 4,0	- -	- -	- -
1,0-1,3	1,0 3,0	1,4 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 4,0	2,0 4,0	2,0 6,0	2,0 6,0	- -
1,4-2,0	1,0 3,0	1,4 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 4,0	1,5 6,0	2,0 6,0	2,0 6,0	2,5 6,0	- -
2,2;2,5	1,0 3,0	1,4 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 4,0	2,0 6,0	2,0 6,0	2,0 6,0	2,5 6,0	2,5 6,0
2,8-3,2	1,0 3,0	1,4 3,0	1,5 3,0	1,5 3,0	1,5 4,0	2,0 6,0	2,0 6,0	2,0 6,0	2,5 2,7	2,5 2,7
3,5-3,9	Предусматриваются другие ширины листов и их максимальная и минимальная длины, а также сталь толщ-ной 0,5 - 3,0 мм, шириной 0,5 – 1,8 мм					2,0 4,5	2,0 4,5	2,0 4,75	2,5 2,7	2,5 2,7
4,0-4,5						2,0 4,5	2,0 4,5	2,0 4,5	1,5 2,5	1,5 2,5
4,8-5,0						2,0 4,5	2,0 4,5	2,0 4,5	1,5 2,3	1,5 2,3

*Толщины листов в указанных пределах дополнительно брать из ряда: 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,6; 1,7; 3,0; 3,8; 4,2.

Список рекомендуемой литературы по дисциплине

1. **Владимиров, А.И., Щелкунов, В.А., Круглов С.А.** Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки [Текст]: учеб. пособие для вузов. / А.И. Владимиров [и др.] – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 227 с.
2. **Гольянов, А.И.** Газовые сети и газохранилища: учебник для вузов / А.И. Гольянов. – Уфа: ООО «Издательство научно-технической литературы» «Монография», 2004. – 303с.
3. **Карев, В.Н.** Объекты сервиса нефтегазовой отрасли. Газораспределение [Текст] учебное пособие / В.Н. Карев, Голованчиков А.Б., С.М. Леденев, В.Н. Кривко, А.Н. Сидоров, А.В. Рыбалкин Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. – 245 с.
4. **Коннова, Г.В.** Оборудование транспорта и хранения нефти и газов: учеб. пособие для вузов / Г.В. Коннова. – Ростов н/Д.: - Феникс, 2006. – 128с.
5. **Корж, В.В.** Эксплуатация и ремонт оборудования насосных и компрессорных станций [Текст]: учеб. пособие / В.В. Корж, А.В. Сальников. – Ухта: УГТУ, 2010. – 184с.
6. **Коршак А.А.** Нефтебазы и автозаправочные станции: учеб. пособие / А.А. Коршак. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 494с. (Высшее образование)
7. **Коршак А.А.** Основы транспорта, хранения и переработки нефти и газа; учеб. пособие / А.А. Коршак. . – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 365с. (Высшее образование)
8. **Макаров, Ю.И., Генкин, А.Э.** Технологическое оборудование химических и нефтегазоперерабатывающих заводов: учебник / Ю.И. Макаров, А.Э. Генкин. – М.: Машиностроение, 1976. – 367с.
9. **Поникаров, И.И., Поникаров, С.И, Рачковский, С.В.** Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи): учебн. пособие / И.И Поникаров [и др.] – М.: Альфа-М, 2008. – 720с.
10. **Рыгин, В.А., Карев В.Н., Карева Г.Н.** Сервис в нефтегазовых комплексах. Расчеты на прочность аппаратов и оборудования [Текст]: учебное пособие / В.А. Рыгин, В.Н. Карев, Г.Н. Карева : Волгоградский филиал «РГУТИС». – Волгоград, 2009. – 52с.
11. **Смирнов, Н.Н.** Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов) [Электронный ресурс] / Н.Н. Смирнов, В.М. Барабаш, К.А. Карпов; под. общ. ред. Н.Н. Смирнова. - 3-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2017. - 84 с. - (ЭБС «Лань») - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91283#book>.
12. **Степанов, О.А., Крылов, Г.В.** Хранение и распределение газа / О.А. Степанов, Г.В. Крылов. – М.: Недра, 1994. – 267с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. http://window.edu.ru/window/catalogp_rid=59576 .
2. <http://www.studfiles.ru/dir/download/14640.html>
3. <http://www.fptl.ru/biblioteka/paht.html>
4. <http://window.edu.ru/resource/369/76369>
5. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии
<http://www.unn.ru/chem/ism/files/kasatkin.pdf>
6. Библиотека по процессам и аппаратам в химической технологии.
<http://www.fptl.ru/biblioteka/paht.html>