

Министерство образования Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН И
АППАРАТОВ**

Методические указания и контрольные работы для студентов
5-го курса заочного отделения специальности 1705 1706

Тамбов 2000

УДК 66.002.5.001.2(075.8)
ББК Л1я73-5/К658

Расчет и конструирование элементов машин и аппаратов. Метод. указ. и контр. раб. /Сост.: Коптева В.Б. - Тамбов: Тамб. Гос. Техн.ун-т, 2001.-17 с.

В методических указаниях приведены основные расчетные вопросы по курсу «Расчет и конструирование элементов машин и аппаратов для студентов 5-го курса заочного отделения специальностей 1705 и 1706. Даны 8 контрольных работ.

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Составитель: Коптева В.Б.

Рецензент: д.т.н., профессор С.И.Дворецкий

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Расчет и конструирование элементов машин и аппаратов химических и пищевых производств» относится к специальным дисциплинам и является завершающим из числа расчетно-конструкторских курсов при подготовке инженеров по специальностям 1705 и 1706. Курс знакомит будущих инженеров с технически наиболее точными, научно-обоснованными методами расчета и конструирования аппаратов и машин,

содействует внедрению этих методов в практику работы заводов и конструкторских бюро.

Изучение курса сопровождается контрольными работами и курсовой работой, при выполнении которых студент получает навыки работы с техническими справочниками, действующими нормативами, ГОСТами.

1. ТОНКОСТЕННЫЕ СОСУДЫ И АППАРАТЫ

При расчете конструкции студенты должны принять во внимание следующие требования:

- 1) конструкция должна состоять из отдельных узлов, изготовленных независимо друг от друга;
- 2) при определении размеров деталей и узлов необходимо пользоваться нормализованными рядами типоразмеров;
- 3) быть рациональной, удобной в изготовлении и эксплуатации;
- 4) обеспечить надежность в эксплуатации;
- 5) сравнительная легкость сборки и разборки, доступность при ремонте;
- 6) по возможности сводить к минимуму длину сварных швов.

При конструировании в большинстве случаев необходимо принимать во внимание температурные расширения в аппарате и проверять отдельные узлы на температурные напряжения и предусматривать возможность свободной деформации частей и деталей аппаратов.

1.1. Определение допускаемого напряжения

Важнейшим вопросом конструирования является правильный выбор допускаемого напряжения, при котором обеспечивается безопасная работа и не происходит перерасхода конструкционного материала. Допускаемое напряжение определяют для рабочего состояния и условий испытания на прочность и плотность аппарата.

$[\sigma] = \sigma_{дон} \cdot \eta$, где $\sigma_{дон}$ - нормативное допускаемое напряжение для данного материала, определяемое по ГОСТ 14249-89; η - коэффициент, зависящий от вида заготовки.

$\eta = 1,0$ - для листового проката;

$\eta = 0,7 \div 0,8$ - для отливок и поковок.

1.2. Давление рабочее, расчетное и пробное

Рабочее давление P - это максимальное внутреннее избыточное или наружное давление, возникающее при нормальном течении рабочего процесса без учета гидростатического давления среды.

Расчетное давление P_p - то же самое, что и P , но с учетом гидростатического давления среды

$P_p = P + P_{Г}$, где $P_{Г}$ - гидростатическое давление среды.

Пробное давление P_u - это давление испытания аппарата на прочность и плотность.

При $P < 0,5 \text{ МПа}$

$$P_u = \max \left\{ 1,5 P \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]}; 0,2 \right\}.$$

При $P \geq 0,5 \text{ МПа}$

$$P_u = \max \left\{ 1,25 P \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]}; P + 0,3 \right\}, \text{ где}$$

$[\sigma]^{20}$ - допускаемое напряжение при $20 \text{ }^\circ\text{C}$, МПа,

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение при рабочей температуре, МПа,

P - рабочее давление, МПа.

1.3. Расчет тонкостенных аппаратов по безмоментной теории

При расчете тонкостенных оболочек необходимо учесть, что ввиду малой толщины стенки, она плохо приспособлена к работе на изгиб. Относительно малые изгибающие моменты вызывают в них значительные напряжения и деформации. Поэтому при конструировании надо избегать причин, вызывающих моменты, выбирая соответствующую форму оболочки.

Согласно безмоментной теории, в оболочке под внутренним газовым давлением действует кольцевое напряжение $\sigma_t = PR / (S - C)$ и меридиональное напряжение $\sigma_l = PR / (2(S - C))$.

При расчете толщины оболочек необходимо использовать формулы по ГОСТ 14249-89.

Толщина эллиптической крышки (днища) определяется

$$S = \max \left\{ \frac{PR_g}{2[\sigma]\varphi - 0,5P}; \frac{P_u R_g}{2[\sigma_u]\varphi - 0,5P_u} \right\} + C,$$

где R_g - внутренний радиус кривизны днища, М. Для стандартного эллиптического днища $R_g = D$; C - конструктивная прибавка, М; φ - коэффициент прочности сварного шва.

Эллиптические днища являются самыми рациональными с точки зрения восприятия давления и технологии изготовления.

Толщина цилиндрической оболочки определяется

$$S = \max \left\{ \frac{PD}{2[\sigma]\varphi - P}; \frac{P_u D}{2[\sigma_u]\varphi - P} \right\} + C.$$

Толщина конического днища определяется

$$S = \max \left\{ \frac{PD_p}{(2[\sigma]\varphi - P) \cos \alpha}; \frac{R_1 D_p}{(2[\sigma_u]\varphi - P) \cos \alpha} \right\} + C, \text{ где}$$

D_p - расчетный диаметр конического днища, зависящий от конструкции и способа соединения с цилиндрической обечайкой; α - угол конического днища.

Конические днища хуже воспринимают давление, получаются толще эллиптических, увеличивают габариты аппарата, поэтому их применяют для удаления вязких и сыпучих сред, при переходе на другой диаметр.

Толщина плоского днища определяется

$$S = \max \left\{ KK_0 D_p \sqrt{\frac{P}{[\sigma]\varphi}}; KK_0 D_p \sqrt{\frac{P_u}{[\sigma_u]\varphi}} \right\} + C, \text{ где}$$

K - коэффициент формы днища, зависит от конструкции; K_0 - ослабление, вызванное отверстиями; D_p - расчетный диаметр.

Плоские днища плохо приспособлены к работе под давлением, получаются громоздкими.

После определения максимальной толщины, ее величину округляют в большую сторону до ближайшего значения листового проката по ГОСТ 19903-74. Принятую толщину оболочки обязательно проверяют на допускаемое давление.

1.4. Расчет тонкостенных оболочек под внутренним давлением по моментной теории.

Моментная теория сводится к определению напряжений и деформаций от действия краевого эффекта, т.е. краевой силы P_0 и краевого момента M_0 . Краевой эффект возникает при соединении частей аппарата с разной жесткостью, при резком изменении геометрической формы, резкое изменение толщины или конструкционного материала.

Значения краевой силы P_0 и краевого момента M_0 определяют из уравнения совместности деформации для сопряженных краев оболочки.

$$\begin{cases} \Delta_p^1 + \Delta_{P_0}^1 + \Delta_{M_0}^1 = \Delta_p^2 + \Delta_{P_0}^2 + \Delta_{M_0}^2 \\ Q_p^1 + Q_{P_0}^1 + Q_{M_0}^1 = Q_p^2 + Q_{P_0}^2 + Q_{M_0}^2, \end{cases}$$

где Δ, Q линейная и угловая деформации; 1,2 - индекс, указывающий на составные части оболочки; P, P_0, M_0 - индекс, указывающий от какого силового фактора происходит деформация (давление, краевая сила, краевой момент).

После определения краевой силы и краевого момента расчет составных частей оболочек ведется отдельно. Определяются меридиональные и кольцевые силы и моменты, главные напряжения и условие прочности.

1.5. Расчет сосудов на внешнее давление.

Часто аппараты работают не под избыточным давлением, а под наружным (обогрев рубашкой) или вакуум. В этом случае обязательно проводят расчет на устойчивость формы. Явление потери устойчивости формы происходит при внешнем давлении, называемым критическим. Величина критического давления зависит от геометрической формы, размеров аппарата, точности изготовления, механических свойств материала.

Сначала определяется предварительная толщина, которая затем проверяется на устойчивость по формуле

$$[P] = \frac{[P]\sigma}{\sqrt{1 + \frac{[P]\sigma}{[P]_E}}} > P, \text{ где}$$

$[P]\sigma, [P]_E$ - допускаемые давления из условия прочности и устойчивости.

Если условие устойчивости не выполняется, необходимо либо увеличить толщину стенки, либо поставить кольца жесткости и сделать расчет заново.

2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Кожухотрубные теплообменники являются самым распространенным типом теплообменной аппаратуры, т.к. имеют большую поверхность теплообмена, состоят из нормализованных деталей и узлов. Характерной особенностью кожухотрубных теплообменников является жесткое крепление трубных решеток к корпусу. Так как трубки и корпус нагреты до разных температур, то, ввиду жесткого крепления, в них возникает усилие, сжимающее одну часть и растягивающее другую. При этом считаем, что трубная решетка и трубки абсолютно жесткие. Напряжение в трубках и корпусе от действия температуры

$$\sigma_{TP}^t = \frac{Q_t}{F_{TP}}; \sigma_K^t = \frac{Q_t}{F_K}, \text{ где}$$

Q_t - температурное усилие, F_K, F_{TP} - площадь трубок и корпуса.

Теплоносители в теплообменниках часть подают под давлением и тогда в трубках и корпусе возникает усилие от разности давлений. Напряжения от действия перепада давления

$$\sigma_{TP}^p = \frac{q_{TP}}{F_{TP}}; \sigma_K^p = \frac{q_t}{F_K}.$$

Общие напряжения от совместного действия перепада температур и давления

$$\sigma_{TP} = \sigma_{TP}^t + \sigma_{TP}^p \leq [\sigma_{TP}]$$

$$\sigma_K = \sigma_K^t + \sigma_K^p \leq [\sigma], \text{ где}$$

$[\sigma_{TP}], [\sigma_K]$ - допускаемые напряжения для материала трубок и корпуса.

Если условие прочности не выполняются, то необходимо установить компенсатор.

3. АППАРАТЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В отличие от аппаратов низкого и среднего давления, где напряжения равномерно распределяются по толщине стенки, в аппаратах высокого давления его нельзя считать равномерным.

В толстостенном цилиндре действуют кольцевые σ_t , радиальные σ_r и осевые σ_z напряжения. Величину этих напряжений определяют на внутренней и внешней поверхностях, а также в промежутке между ними.

В технике высоких давлений для увеличения несущей способности стенки сосуда применяют автофреттаж, который заключается в предварительной нагрузке цилиндра внутренним давлением, большим рабочего, с таким расчетом, чтобы во внутренних слоях цилиндра возникали пластические деформации. После снятия давления во внешних слоях цилиндра сохраняются упругие напряжения растяжения, а во внутренних напряжения сжатия. В дальнейшем при нагрузке такого цилиндра рабочим давлением остаточные напряжения суммируются с рабочими и во внутренних слоях происходит частичная разгрузка. Материал сосуда не получает пластических деформаций, если рабочее давление не превышает давления автофреттажа.

4. БАРАБАННЫЕ ВРАЩАЮЩИЕ АППАРАТЫ

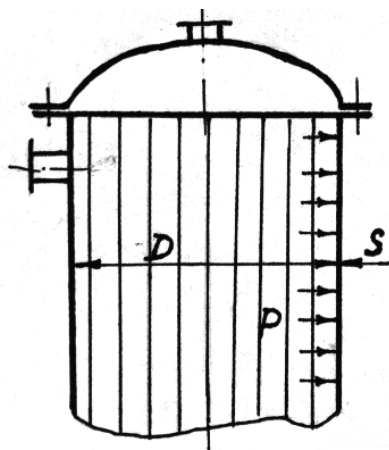
Аппараты, выполненные в виде вращающихся барабанов являются одним из основных типов аппаратов для обработки систем «твердое тело - газ» и применяются тех случаях, когда невелико количество газа большой размер кусков.

Для лучшего обдувания частиц материала газом и приведения с ним в контакт наибольшей массы материала внутри барабана устраивают насадку в виде лопастей различной формы.

Для передачи давления от масс всех вращающихся частей аппарата на опорные ролики барабан снабжен бандажами. Бандаж представляет собой кольцо чаще всего прямоугольного или квадратного сечения. Изготавливают бандажи из качественной углеродистой стали. Сталь 40 Сталь 45, Сталь 55.

Самым распространенным способом крепления бандажа для средних и тяжелых машин является свободное крепление на башмаках, т.к. работает всегда только половина бандажа и нагрузка перпендикулярна к бандажу.

Контрольная работа №1



Рассчитать узел крепления корпуса и трубной решетки по моментной теории.
Конструктивная прибавка $C=1,5\text{мм}$.

Условные обозначения:

D - диаметр аппарата, м;

P - давление в межтрубном пространстве, МПа;

s - толщина корпуса, мм;

T - температура, $^{\circ}\text{C}$.

Исходные данные по вариантам

№ вар	D , м	P , МПа	s , мм	T , $^{\circ}\text{C}$	материал	№ вар	D , м	P , МПа	s , мм	T , $^{\circ}\text{C}$	материал
1	1,2	1,0	6	150	09Г2С	6	2,6	05	7	140	12Х18Н10Т
2	1,6	0,9	6	150	09Г2С	7	2,4	0,5	7	130	12Х18Н10Т
3	1,8	0,8	6	160	15ХМ	8	2,8	0,4	6	130	ВСт3
4	2,0	0,7	5	160	15ХМ	9	0,8	1,0	5	120	16ГС
5	2,2	0,6	5	140	ВСт3	10	1,0	1,0	5	120	16ГС

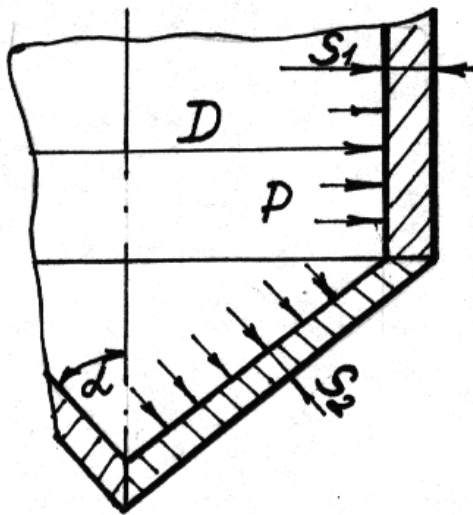
Конструктивная прибавка $s=1,5\text{мм}$.

Порядок выполнения задания

1. Определить допускаемое напряжение.
2. Определить толщину цилиндрической оболочки.
3. Нарисовать силовую схему.
4. Составить условие совместимости деформации.
5. Определить краевую силу и краевой момент.
6. Определить кольцевые и меридиональные силы и моменты.
7. Определить главные напряжения и сравнить с допускаемыми.
8. Определить главные напряжения по безмоментной теории.
9. Сравнить полученные напряжения по безмоментной и моментной теории, сделать выводы.

Литература [3/С14-15]

Контрольная работа №2



Рассчитать узел сопряжения цилиндрической оболочки и конического днища по моментной теории.

Материал сосуда - сталь ВСт3.

Конструктивная прибавка $s=1$ мм.

Температура $t=100^{\circ}\text{C}$.

Условные обозначения:

D - диаметр аппарата, м;

P - давление в аппарате, МПа;

α - угол конического днища, град.

Исходные данные по вариантам

№ варианта	D , м	P , МПа	α , град	№ варианта	D , м	P , МПа	α , град
1	1,2	0,6	30	6	2,2	0,4	45
2	1,4	0,6	30	7	2,4	0,3	50
3	1,6	0,5	40	8	2,6	0,3	50
4	1,8	0,5	40	9	2,8	0,2	30
5	2,0	0,4	45	10	3,0	0,2	30

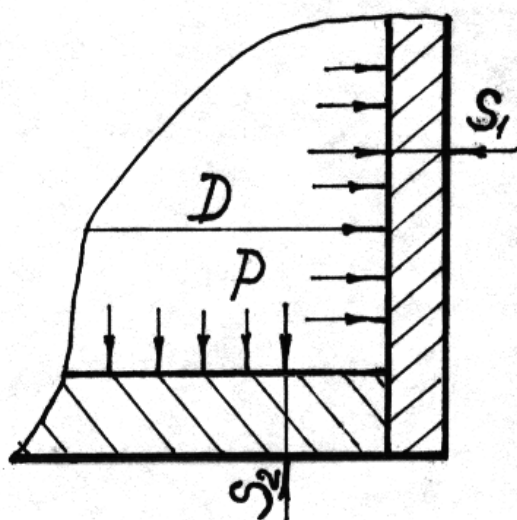
Порядок выполнения задания

1. Определить допускаемые напряжения.

2. Определить толщину цилиндрической оболочки S_1 и конической оболочки S_2 от внутреннего давления.
3. Нарисовать силовую схему.
4. Составить уравнение совместности деформации.
5. Определить краевую силу и краевой момент, кольцевые и меридиональные силы и моменты.
6. Определить главные напряжения, эквивалентное напряжение и сравнить с допускаемыми.

Литература [2/с67-79];

Контрольная работа №3



Рассчитать узел сопряжения цилиндрической оболочки и плоского дна по моментной теории. Материал сосуда - сталь ВСт3. Конструктивная прибавка $s=1$ мм. Температура $t=150^{\circ}\text{C}$.

Условные обозначения:

D - диаметр аппарата, м;

P - в аппарате, МПа;

S_1, S_2 - толщина цилиндрической части и плоского дна мм.

№ варианта	D , м	P , МПа	S_2 , мм	№ варианта	D , м	P , МПа	S_2 , мм
1	1,2	0,7	12	6	2,2	0,5	20
2	1,4	0,7	12	7	2,4	0,4	24
3	1,6	0,6	14	8	2,6	0,4	26
4	1,8	0,6	15	9	2,8	0,3	28
5	2,0	0,5	18	10	3,0	0,3	30

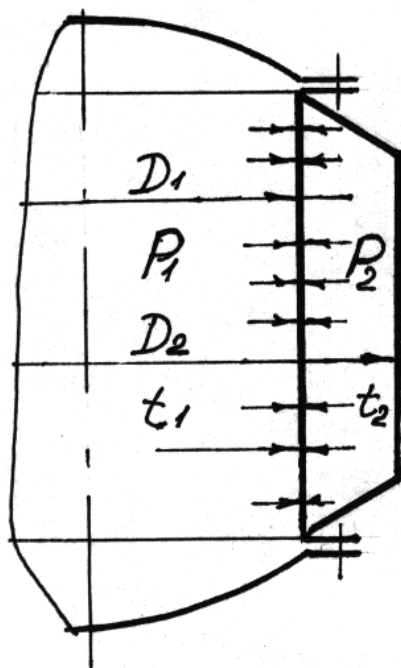
Порядок выполнения заданий

1. Определить допускаемое напряжение.
2. Определить толщину цилиндрической оболочки S_1 .
3. Составить уравнение совместности деформации.
4. Нарисовать силовую схему.
5. Определить краевую силу, краевой момент, кольцевые и меридиональные силы и моменты.

6. Определить главные напряжения, эквивалентное и сравнить с допусаемым.

Литература [2.С.57-67]

Контрольная работа №4



Рассчитать корпус аппарата из условия прочности и устойчивости.

Материал аппарата - сталь 15ХМ, материал рубашки - Вст3.

Конструктивная прибавка $s=2$ мм.

Высота рубашки $H=5$ м (вар.1-5);

$H=4$ м (вар. 6-10).

Условные обозначения:

D_1 - диаметр аппарата;

D_2 - диаметр рубашки, м;

P_1 - давление в аппарате, МПа;

P_2 - давление в рубашке, МПа;

t_1 - температура в аппарате, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 - температура в рубашке, $^{\circ}\text{C}$.

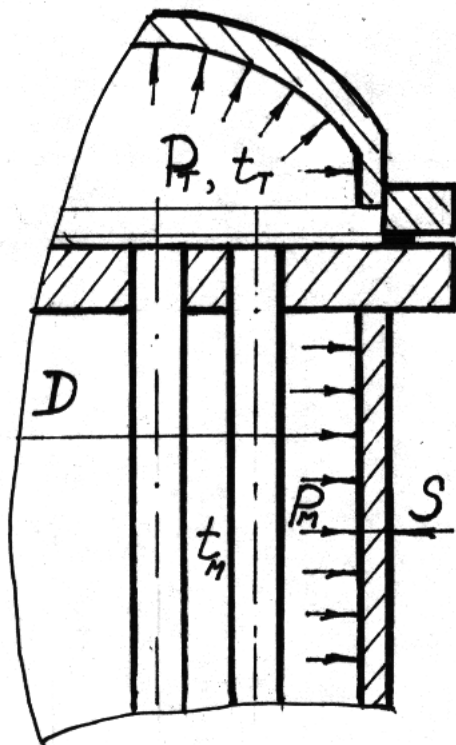
Исходные данные

№ варианта	D_1 , м	D_2 , м	P_1 , МПа	P_2 , МПа	t_1 , $^{\circ}\text{C}$	t_2 , $^{\circ}$
1	0,8	1,0	0,3	0,6	120	160
2	1,0	1,2	0,3	0,6	120	160
3	1,2	1,4	0,3	0,5	140	170
4	1,4	1,6	0,4	0,6	140	170
5	1,6	1,8	0,4	0,6	150	180
6	1,7	1,9	0,5	0,4	150	180
7	1,8	2,0	0,5	0,5	160	200
8	2,0	2,2	0,6	0,5	140	180
9	2,2	2,4	0,6	0,4	120	160
10	2,4	2,6	0,4	0,5	120	160

Порядок выполнения задания

1. Определить допускаемые напряжения.
2. Рассчитать толщину корпуса на внутреннее давление.
3. Рассчитать толщину корпуса на внешнее давление.
4. Проверить на устойчивость от действия давления.

Литература [2. с.42-44] [4. с.6-9]
Контрольная работа №5



Проверить необходимость установки компенсатора.

Материал корпуса - сталь ВСтЗ,
материал трубок - сталь 12Х18Н10Т.

Трубки $d_n \times d_b = 25 \times 21$ мм.

Конструктивная прибавка $c = 2$ мм.

Условные обозначения:

D - диаметр теплообменника, м;

d_n - наружный диаметр трубки, мм;

t_T - температура трубного пространства, °С;

t_M - температура межтрубного пространства, °С;

P_M - давление в межтрубном пространстве, МПа;

P_T - давление в трубном пространстве, МПа.

Исходные данные по вариантам

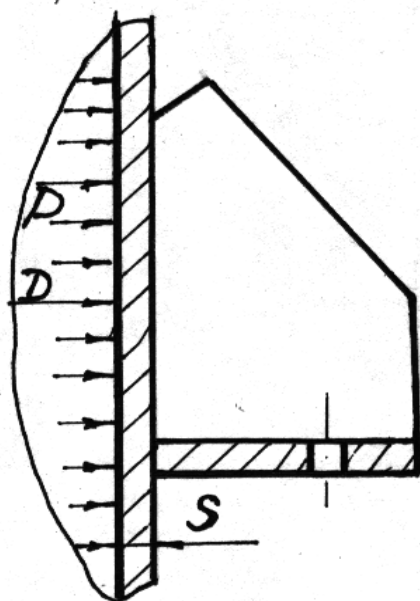
№ вар.	D , м	t_M , °С	t_T , °С	P_T , МПа	P_M , МПа	№ вар.	D , м	t_M , °С	t_T , °С	P_T , МПа	P_M , МПа
1	0,8	80	140	0,8	1,4	6	1,8	80	150	0,6	1,2
2	1,0	80	140	0,8	1,4	7	2,0	90	150	0,5	1,0
3	1,2	90	150	0,7	1,3	8	2,2	90	140	0,5	1,0
4	1,4	100	160	0,7	1,3	9	2,4	70	130	0,4	1,0
5	1,6	100	160	0,6	1,2	10	2,6	70	130	0,4	1,0

Порядок выполнения задания

1. Определить допускаемые напряжения.
2. Определить толщину корпуса.
3. Определить напряжения в корпусе и трубках от действия давления и температуры
4. Проверить плотность развальцовки.
5. Сделать вывод о необходимости установки компенсатора.

Контрольная работа №6

Подобрать опору типа лапа для аппарата без изоляции и сделать поверочный расчет на прочность



Условные обозначения:

G_{max} - вес аппарата при гидроиспытании, кН;

G_p - вес аппарата при эксплуатации, кН;

P - давление в аппарате, МПа;

S - толщина стенки аппарата, мм;

n - количество опор.

Исходные данные по вариантам

№ вар.	D, м	S, мм	G_{max} , кН	$G_{раб}$, кН	P, МПа	n	№ вар.	D, м	S, мм	G_{max} , кН	$G_{раб}$, кН	P, МПа	n
1	1,0	5	100	80	0,8	2	6	2,0	6	240	200	0,6	4
2	1,2	5	140	120	0,8	2	7	2,2	6	280	250	0,6	4
3	1,4	6	160	150	0,7	3	8	2,4	7	300	270	0,5	4
4	1,6	6	180	170	0,7	3	9	2,6	7	320	300	0,5	4
5	1,8	6	200	180	0,6	4	10	2,8	7	360	330	0,4	4

Материал аппарата и опоры - Сталь ВСт3.

Конструктивная прибавка $c=1$ мм.

Порядок выполнения задания

1. Определить нагрузку на опору и выбрать стандартную опору.
2. Сделать эскиз и поверочный расчет на прочность.
3. При необходимости установить подкладной лист.

Литература [6. с.274-277, с.291-294], [7.с3-17];

Контрольная работа №7

Определить напряжения в стенке толстостенного цилиндра после автофреттажа. Построить эпюры напряжений. Сделать сравнительный анализ напряженного состояния.

Условные обозначения:

R_1 - внутренний радиус цилиндра, м;

P - рабочее давление, МПа;

t - температура, °С;

Исходные данные по вариантам

№ вар.	R_1 м	P , МПа	t , °С	мате- риал	№ вар.	R_1 м	P , МПа	t , °С	мате- риал
1	0,3	50	100	40Х	6	1,4	55	150	09Г2С
2	0,6	50	150	40ГС	7	0,9	45	200	10Г2
3	0,8	60	100	30ХМ	8	0,7	45	200	40ХМ
4	1,0	60	200	40Х	9	0,5	60	250	35ХМ
5	1,2	55	200	50Х	10	0,4	50	100	12ХН2

Коэффициент запаса по предельному давлению $n=1,5$; глубина пластической деформации $T=60\%$; условие пластичности - Сен-Венана.

Порядок выполнения задания

1. Определить рабочие, предельные напряжения, после разгрузки и автофреттажа.
2. Построить эпюры рабочих, остаточных напряжений и напряжений автофреттажа.
3. Сделать выводы.

Литература [8]

Контрольная работа №8

Подобрать сечение бандажа барабанной сушилки, исходя из расчета на контактную прочность и условия прочности на изгиб.

Условные обозначения:

D - внутренний диаметр барабана, м;

G - нагрузка от веса барабана, кН;

n - число башмаков.

Исходные данные

№ варианта	D, м	n	G, кН	№ варианта	D, м	n	G, кН
1	1,0	8	100	9	3,4	20	280
2	1,4	10	120	10	3,6	24	300
3	1,8	10	160	11	2,0	16	200
4	2,0	12	180	12	2,2	16	220
5	2,4	12	190	13	2,6	20	220
6	2,8	16	200	14	2,4	20	240
7	3,0	16	220	15	2,8	24	260
8	3,2	20	240	16	3,0	24	260

Допускаемое контактное напряжение - $[\sigma]_к=500$ МПа; допускаемое напряжение на изгиб - $[\sigma]=70$ МПа; угол раствора опорных роликов - $2\alpha=60^\circ$.

Порядок выполнения задания

1. Нарисовать схему бандажа, приложить действующие нагрузки.
2. Определить значения N_0 и M_0 . Построить эпюру изгибающего момента, определив M_{\max} .
3. Найти ширину бандажа b из расчета на контактную прочность.
4. Найти высоту бандажа h из условия прочности на изгиб.

Литература [2. с.247-257

Литература

1. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппарат. Нормы и методы расчета на прочность. - М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1988. 62с.
2. Михалев М.Ф., Третьяков Н.П. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. - Л.:Машиностроение, 1984. 299с.
3. Коптев А.А., Попов А.И. Расчет сосудов по моментной теории. - Тамбов: ТИХМ, 1992. 24с.

4. Коптева В.Б., Попов А.И. Аппараты с рубашками. - Тамбов: ТГТУ, 1997. 24с.
5. Домашнев А.Д. Конструироание и расчет химических аппаратов. - М.:Машиностроение, 1961. 624с.
6. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. - М.:Машиностроение, 1981. 378с.
7. Коптева В.Б., Попов А.И. Опорные устройства. - Тамбов: ТГТУ, 1994. 67с.
8. Коптев А.А. Расчет аппаратов высокого давления по предельному состоянию. - Тамбов: ТИХМ, 1980. 24с.