

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***  
по выполнению практических работ  
по дисциплине «Методы оптимизации проектирования технологического  
оборудования»  
Направление подготовки – 15.04.02 Технологические машины и оборудование  
Профиль подготовки: Проектирование технологического оборудования \

Ставрополь, 2022

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Методы оптимизации проектирования технологического оборудования» разработаны в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта в части содержания и уровня подготовки выпускников по направлению 15.04.02 – Технологические машины и оборудование

Методические указания имеют целью закрепить у студентов теоретически полученные знания по дисциплине, выработать практические навыки конструирования и материального оформления оборудования химических производств и проведения его расчетов на прочность.

Приведены исходные данные и методические указания по выполнению практических заданий, список рекомендуемой литературы.

## СОДЕРЖАНИЕ

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ОБЕЧАЙКИ И ДНИЩА, НАГРУЖЕННЫХ ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ.....	4
РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ АППАРАТА, НАГРУЖЕННОГО НАРУЖНЫМ ДАВЛЕНИЕМ, ОСЕВОЙ СЖИМАЮЩЕЙ СИЛОЙ И ИЗГИБАЮЩИМ МОМЕНТОМ.....	8
РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ОБЕЧАЙКА - ДНИЩЕ .....	11
РАСЧЕТ НА УКРЕПЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ. ВЫБОР ТИПА УКРЕПЛЕНИЯ.....	14

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

### РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ОБЕЧАЙКИ И ДНИЩА, НАГРУЖЕННЫХ ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

По данной теме необходимо рассчитать толщину стенки обечайки и днища тонкостенных сосудов в соответствии с вариантами, приведенными в таблицах 1 и 2.

Нормативные допускаемые напряжения, пределы текучести материалов при заданных температурах, модули упругости, коэффициенты прочности сварных швов указаны в таблицах [1].

При расчете обечаек, которые представляют собой оболочки вращения, находящихся под воздействием равномерно распределенного давления, изгибающие моменты и поперечную силу не учитывают.

Теорию расчета оболочек (рисунок 1), учитывающую только  $\sigma_m$  и  $\sigma_k$ , называют безмоментной теорией оболочек, основным уравнением которой является уравнение Лапласа

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_k}{\rho_k} = \frac{p}{S},$$

где  $\sigma_m$  – меридиональное напряжение;

$\sigma_k$  – кольцевое напряжение;

$\rho_m, \rho_k$  – радиусы кривизны срединной поверхности оболочки.

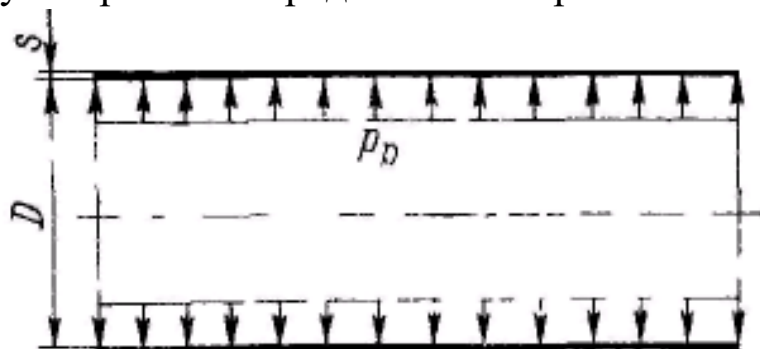


Рисунок 1 – Расчетная схема цилиндрической обечайки

На основе данного уравнения получают основные расчетные зависимости для цилиндрических, конических, сферических и эллиптических оболочек.

Исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки  $s$  определяют по формулам:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi[\sigma] - p_p) \\ p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi[\sigma]_u - p_u) \end{array} \right\};$$

$$S = S_p + c + c_0,$$

где  $p_p$  – расчетное давление;

$p_u$  – пробное давление;

$\varphi$  – коэффициент прочности сварных швов;

$D$  – диаметр аппарата;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение для рабочего состояния;

$[\sigma]_u$  – допускаемое напряжение при испытаниях;

$c$  – прибавка к расчетной толщине обечайки;

$c_0$  – прибавка на округление размера до стандартного значения.

Расчетную и исполнительную толщину стенки конической обечайки (рисунок 2) определяют по формулам:

$$S_{к.р} = \max \left\{ \begin{array}{l} p_p \cdot D / [(2 \cdot \varphi[\sigma] - p_p) \cdot \cos \alpha] \\ p_u \cdot D / [(2 \cdot \varphi[\sigma]_u - p_u) \cdot \cos \alpha] \end{array} \right\};$$

$$S_k = S_{к.р} + c + c_0,$$

где  $S_{к.р}$  – расчетная толщина стенки конической оболочки;

$\alpha$  – угол при вершине конуса, градусы.

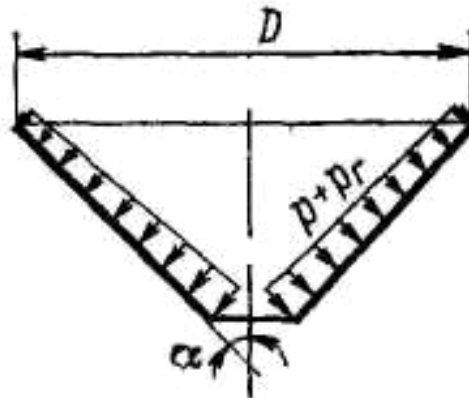


Рисунок 2 – Расчетная схема конического днища

Толщина стенки эллиптической крышки (днища) (рисунок 3):

$$S_{э.р} = \max \left\{ \begin{array}{l} p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi[\sigma] - 0,5 \cdot p_p) \\ p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi[\sigma]_u - 0,5 \cdot p_u) \end{array} \right\};$$

$$S = S_{э.р} + c + c_0,$$

где  $S_{э.р}$  – расчетная толщина стенки эллиптического днища.

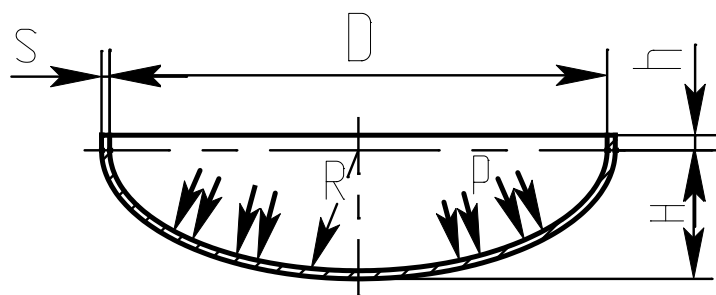


Рисунок 3 – Расчетная схема эллиптического днища

Затем для днищ проводится проверка допускаемого давления как в рабочем состоянии, так и при испытаниях:

$$p_p < [p];$$

$$p_{и} < [p],$$

Вышеуказанные формулы применимы при условии  $\frac{S - c}{D} \leq 0,1$ .

Варианты задания представлены в таблицах 1 и 2. Необходимо рассчитать толщину стенки обечайки и днища.

Таблица 1 – Параметры вулканизационного котла

№	Размеры котла		Рабочее давление в котле $p$ , МПа	Температура в котле $t_c$ , °С	Объем котла $V$ , м <sup>3</sup>	Марка стали	Скорость коррозии $P$ , мм/год	Срок эксплуатации $\tau_b$ , лет
	Внутренний диаметр $D$ , мм	Длина цилиндрической части $l_{ц}$ , м						
1	800	0,9	0,90	180	0,68	10	0,05	15
2	1100	1,5	0,60	160	1,85	20	0,09	12
3	1500	3,0	0,60	160	6,30	ВСт3пс	0,10	10
4	2000	4,0	0,60	160	16,00	ВСт3пс	0,08	12
5	2200	6,0	0,60	160	26,00	ВСт3Гпс	0,06	15
6	2800	6,0	0,40	150	43,20	10	0,05	10
7	2800	8,0	1,25	190	57,00	20	0,07	12
8	2800	16,0	0,60	150	91,00	ВСт3пс	0,09	10
9	3600	8,0	1,00	180	98,00	20	0,04	15

Таблица 2 – Параметры вертикального кожухотрубчатого теплообменника

№	Размеры корпуса		Рабочее давление $p$ , МПа	Температура в межтрубном пространстве $t_c$ , °С	Плотность среды, $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Марка стали	Скорость коррозии $P$ , мм/год	Срок эксплуатации $\tau_B$ , лет
	Внутренний диаметр $D$ , мм	Высота цилиндрической части $H_{ц}$ , м						
1	500	3	6,4	5	1000	ВСт3сп	0,05	10
2	500	6	4,0	30	900	ВСт3сп	0,04	15
3	600	6	2,5	200	1200	16ГС	0,03	10
4	600	9	1,6	320	1160	16ГС	0,06	12
5	800	6	2,0	-5	1300	Двухслойная 16ГС+12Х18Н10Т	0,02	15
6	800	9	3,0	120	1400	Двухслойная 16ГС+12Х18Н10Т	0,03	10
7	1000	6	4,2	20	800	ВСт3сп5	0,07	15
8	1000	9	1,6	-10	1270	16ГС	0,04	12
9	1200	6	2,5	10	1000	16ГС	0,01	18
10	1200	9	6,4	60	1250	Двухслойная 16ГС+12Х18Н10Т	0,02	10
11	1400	6	3,0	100	1100	ВСт3сп5	0,07	12
12	1400	9	2,0	80	950	ВСт3сп5	0,08	15

Примечание: при расчете теплообменника необходимо учесть, что рабочая среда жидкая.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

### РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ АППАРАТА, НАГРУЖЕННОГО НАРУЖНЫМ ДАВЛЕНИЕМ, ОСЕВОЙ СЖИМАЮЩЕЙ СИЛОЙ И ИЗГИБАЮЩИМ МОМЕНТОМ

При расчете толщины стенки необходимо учесть, что тонкостенный цилиндр под внешним давлением находится по сравнению с таким же цилиндром, нагруженным внутренним давлением в худших условиях, это объясняется тем, что нагружается цилиндрическая форма аппарата и появляются дополнительные напряжения.

Внешнее давление, под действием которого первоначальная форма цилиндрической оболочки начинает искажаться, называется критическим (рисунок 4).

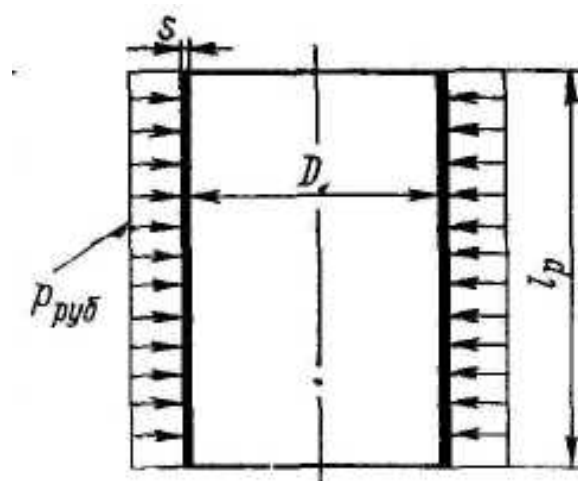


Рисунок 4 – Расчетная схема цилиндрической обечайки, нагруженной наружным давлением

Расчетная и исполнительная толщина стенки определяется по формулам:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} K_2 \cdot D \cdot 10^{-2} \\ 1,1 \cdot p_n \cdot D / 2 \cdot [\sigma] \end{array} \right\},$$

$$S = S_p + c + c_0,$$

где  $K_2$  – коэффициент, определяемый по номограммам [1];

$p_{н.р}$  – рабочее давление;

$c$  – прибавка к расчетной толщине обечайки;

$c_0$  – прибавка на округление размера до стандартного значения.

Пробное давление при гидравлических испытаниях



$$p_{и} = 1,25 \cdot p_{н.р} \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma]$$

где  $[\sigma]_{20}$  – допускаемое напряжение для заданной марки стали при  $t=20^{\circ}\text{C}$ ;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение для рабочего состояния.

Условие устойчивости цилиндрической обечайки должно выполняться для рабочего состояния аппарата:

$$p_{н.р} < [p_{н}]$$

при испытании

$$p_{и} < [p_{н}]_{и},$$

где  $[p_{н}]$  и  $[p_{н}]_{и}$  – допускаемое наружное давление соответственно в рабочем состоянии и при испытании с учетом условия прочности в рабочем состоянии и условия устойчивости в пределах упругости, в зависимости от рабочей длины обечайки  $l_p$  [1].

Варианты задания представлены в таблицах 3 и 4. Необходимо рассчитать толщину стенки цилиндрической обечайки.

Таблица 3 – Параметры вертикального цельносварного аппарата

№	Внутренний диаметр D, мм	Диаметр нижнего штуцера внутренний D <sub>0</sub> , мм	Высота цилиндрической части H <sub>ц</sub> , м	Остаточное давление в аппарате p <sub>ост</sub> , МПа	Температура t <sub>с</sub> , °C	Марка стали	Прибавка к расчетной толщине с, мм
1	1000	50	2130	0,010	30	09Г2С	1,0
2	1400	80	2220	0,020	40	10Х17Н13М2Т	0,9
3	1400	120	3070	0,015	60	12Х18Н10Т	1,3
4	1800	100	3385	0,010	80	Двухслойная 20К+ 10Х17Н13М2Т	0,6
5	1800	150	3785	0,020	180	ВСт3пс	1,2
6	2200	200	4020	0,015	120	Двухслойная 20К+ 12Х18Н10Т	0,8

Таблица 4 – Параметры вертикального аппарата с перемешивающим устройством

№	Внутренний диаметр D, мм	Высота цилиндрической части H <sub>ц</sub> , м	Остаточное давление в аппарате p <sub>ост</sub> , МПа	Температура t <sub>с</sub> , °С	Марка стали	Прибавка к расчетной толщине с, мм	Масса крышки с приводом m, кг
1	1000	1100	0,010	25	ВСт3сп	1,0	730
2	1400	1100	0,009	60	12Х18Н10Т	0,7	1000
3	1600	1200	0,011	80	16ГС	0,9	1270
4	1600	1700	0,018	40	09Г2С	1,1	1770
5	1800	1300	0,021	120	10Х17Н13М2Т	0,6	2150
6	1800	1800	0,012	130	20К	0,8	2300

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

#### РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ОБЕЧАЙКА - ДНИЩЕ

Расчетные формулы, использованные в предыдущих занятиях, выведены для случая нагружения оболочек равномерно распределенными по поверхности статическими нагрузками и справедливы для оболочек, у которых не закреплены края, а также для участков, удаленных от закрепленных краев оболочки.

В реальных конструкциях машин и аппаратов края оболочек прикрепляются к другим оболочкам и к соответствующим деталям (фланцы, трубные решетки и т.п.). В таких узлах сопряжения возникают дополнительно, так называемые, краевые нагрузки, вызывающие местные напряжения изгиба в материалах сопрягаемых элементов [2].

Краевая сила  $Q_0$  и краевой момент  $M_0$  являются реакциями заделки края оболочки (рисунок 5).

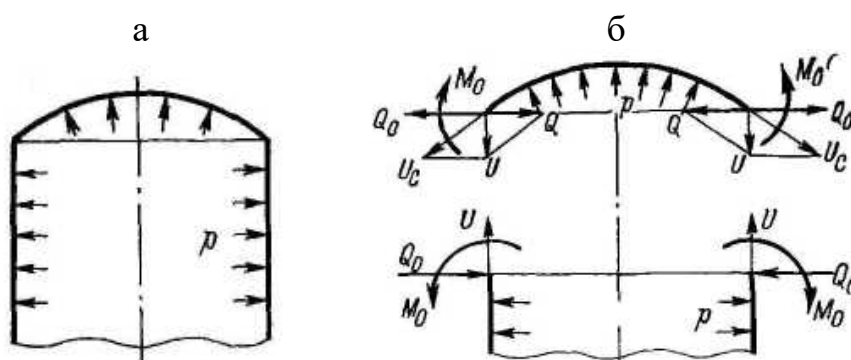


Рисунок 5 – Схема к определению краевых сил и моментов:  
 а – соединение сферической и цилиндрической оболочек; б – расчетная схема;  $U$  и  $U_c$  – меридиональные усилия соответственно цилиндрической и сферической оболочек.

Основными уравнениями для определения напряжений являются уравнения совместности деформаций:

$$\begin{cases} \Delta_p^{\text{Ц}} - \Delta_{Q_0}^{\text{Ц}} + \Delta_{M_0}^{\text{Ц}} = \Delta_p^{\text{С}} + \Delta_{(Q_0-Q)}^{\text{С}} + \Delta_{M_0}^{\text{С}}; \\ \Theta_p^{\text{Ц}} - \Theta_{Q_0}^{\text{Ц}} + \Theta_{M_0}^{\text{Ц}} = -\Theta_p^{\text{С}} - \Theta_{(Q_0-Q)}^{\text{С}} - \Theta_{M_0}^{\text{С}}, \end{cases}$$

где  $\Delta_p^{\text{Ц}}$ ,  $\Delta_{Q_0}^{\text{Ц}}$ ,  $\Delta_{M_0}^{\text{Ц}}$ ,  $\Theta_p^{\text{Ц}}$ ,  $\Theta_{Q_0}^{\text{Ц}}$ ,  $\Theta_{M_0}^{\text{Ц}}$  – радиальные, угловые деформации края цилиндрической оболочки под действием нагрузок  $p$ ,  $Q_0$ ,  $M_0$ ;

$\Delta_p^C, \Delta_{(Q_0-Q)}^C, \Delta_{M_0}^C, \Theta_p^C, \Theta_{(Q_0-Q)}^C, \Theta_{M_0}^C$  – то же для сферической оболочки.

Подставляя соответствующие значения деформаций из таблицы [1] в данное уравнение, с учетом известных геометрических размеров аппарата, получим значения  $Q_0, M_0$ .

Суммарные значения напряжений также определяются по таблицам [1].

Максимальные напряжения по краю оболочек должны быть проверены по условию прочности [1].

По данной теме необходимо: рассчитать на прочность соединение цилиндрической и конической обечаек с 1,2 мм по исходным данным таблицы 5.

Таблица 5 – Параметры вертикального колонного аппарата

№	Внутренний диаметр низа аппарата $D_0$ , мм	Внутренний диаметр верха аппарата $D$ , мм	Угол конуса $\alpha$ °С	Толщина стенки $s=s_k$ , мм	Внутреннее давление $p_p$ , МПа	Температура стенки $t$ , °С	Марка стали (меди, латуни, титана)
1	1000	1200	30	8	0,25	100	МЗр (медь)
2	1400	1800	45	12	0,30	50	ЛЖМц (латунь)
3	1200	1200	70	10	0,45	200	08Х22Н6Т
4	2200	2400	45	8	0,20	150	09Г2С
5	1000	2200	30	14	0,80	100	10Х17Н13М2Т
6	1800	2400	30	12	0,75	300	ОТ4 (титан)
7	1600	1800	70	16	1,00	250	08Х18Г8М2Т
8	1200	2400	45	10	1,20	200	ВТ1-0 (титан)
9	2000	2200	70	8	0,60	150	10Х17Н13М3Т
10	1400	2400	30	14	0,90	50	М2 (медь)
11	2200	2400	45	12	1,00	300	08Х22Н6Т
12	1800	2200	45	16	1,40	100	ЛС59-1 (латунь)
13	1600	2000	30	10	1,20	150	08Х21Н6М2Т

Рассчитать на прочность соединение двух цилиндрических обечаек, имеющих разную толщину стенки  $s=1$  мм, по данным таблицы 6.

Таблица 6 – Параметры вертикального колонного аппарата постоянно-го сечения

№	Внутренний диаметр аппарата D, мм	Внутреннее давление p <sub>p</sub> , МПа	Температура стенки t, °С	Марка стали (меди, латуни, титана)	Толщина стенки, мм	
					S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
1	1600	0,90	200	08X18H10T	8	16
2	200	0,65	250	BT1-1 (титан)	10	18
3	2000	0,85	150	M2 (медь)	12	24
4	2400	1,00	100	16ГС	8	14
5	2000	1,60	100	ЛС59-1 (латунь)	10	20
6	1200	1,00	300	ВСт3сп	14	24
7	1000	0,80	300	20К	12	18
8	2400	1,20	250	M3p (медь)	12	20
9	1000	1,50	150	08X18H12T	10	18
10	1200	0,75	200	OT4 (титан)	8	18
11	1600	0,50	150	ЛЖМц (латунь)	14	24
12	1000	0,60	100	ВСт3сп5	16	24
13	1200	0,35	200	12X18H10T	10	18
14	2000	0,25	300	BT1-0 (титан)	12	24
15	2400	0,50	100	08X18H10T	12	18
16	2200	0,40	250	10X17H13M3T	8	14

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

### РАСЧЕТ НА УКРЕПЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ. ВЫБОР ТИПА УКРЕПЛЕНИЯ

В корпусе и днище цилиндрических аппаратов для установки люков и штуцеров вырезают отверстия. Вырезанное отверстие возможно укрепить: за счет увеличения толщины стенки штуцера, торообразной вставкой, накладным кольцом. В расчетной практике наибольшее распространение получил способ укрепления отверстия накладным кольцом (рисунок 6).

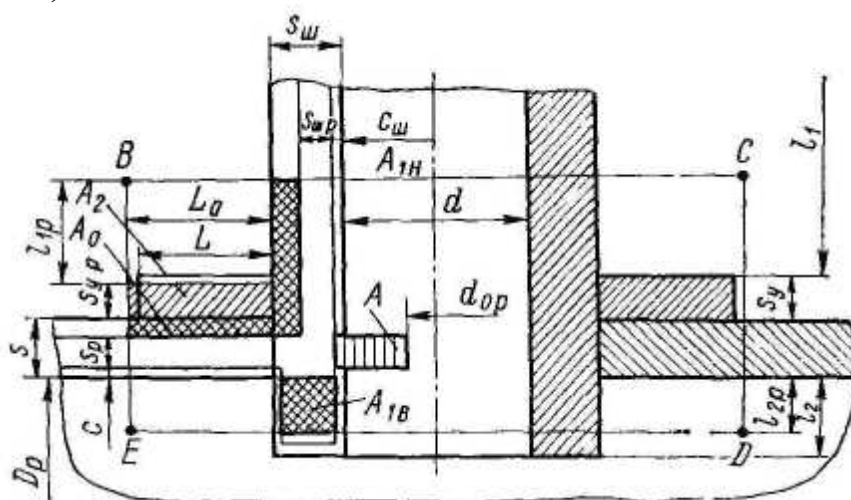


Рисунок 6 – Схема к расчету укрепления отверстия

Расчетный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления при отсутствии избыточной толщины стенки укрепленного элемента

$$d_{0p} = 0,4 \sqrt{D_p (s - c)}.$$

Условие укрепления отверстия утолщением стенки аппарата, штуцером, накладным кольцом или комбинированным укреплением.

$$\begin{aligned} & [(l_{1p} + s_{yp} + s - s_p - c) \cdot (s_{ш} - s_{шp} - c_{ш}) + l_{2p} \cdot (s_{ш} - 2c_{ш})] \cdot \chi_1 + \sqrt{D_p \cdot (s_{yp} + s - c)} \\ & \times (\chi_2 \cdot s_{yp} + s - s_p - c) \geq 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p, \end{aligned}$$

где  $l_{1p}$  – расчетная длина внешней части штуцера;

$l_{2p}$  – расчетная длина внутренней части штуцера;

$s_{yp}$  – расчетная толщина накладного кольца;

$l_1$  – общая длина штуцера,  $l_1 = 200$  мм;

$s$  – исполнительная толщина стенки аппарата;

$s_p$  – расчетная толщина стенки аппарата;

$c$  – прибавка к расчетной толщине стенки аппарата;

$s_{ш}$  – исполнительная толщина стенки штуцера;

$s_{шp}$  – расчетная толщина стенки штуцера;

$c_{ш}$  – прибавка к расчетной толщине стенки штуцера;

$$\chi_1 = [\sigma]_{ш} / [\sigma];$$

$[\sigma]_{ш}$  – допускаемое напряжение материала корпуса;

$$\chi_2 = [\sigma]_y / [\sigma];$$

$[\sigma]_y$  – допускаемое напряжение усиливающего элемента;

$d_p$  – расчетный диаметр отверстия;

$d_{op}$  – расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления.

Расчетная толщина накладного кольца  $S_{ур}$  определяется методом последовательных приближений из условия укрепления отверстия.

Исполнительная толщина накладного кольца принимается по конструктивным соображениям [1].

По теме данного занятия необходимо рассчитать укрепление отверстия, предварительно выбрав тип укрепления.

Исходные данные представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры укрепляемых цилиндрических оболочек

№	Внутренний диаметр оболочки (максимальный) $D$ , мм	Марка стали	Расчетное давление, МПа	Расчетная температура $t$ , °С	Длина неукрепленной части оболочки $l$ , мм	Исполнительная толщина стенки оболочки $s$ , мм	Диаметр отверстия $d$ , мм	Длина внешней части штуцера $l_1$ , мм	Длина внутренней части штуцера $l_2$ , мм	Прибавка к расчетной толщине стенки $c$ , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2400	ВСтЗсп	0,6	100	2500	7	500	300	15	0,8
2	2400	12X18H10T	1,0	100	2500	10	150	250	5	1,0
3	2400	08X18H10T	1,6	100	2500	18	200	250	5	1,2
4	2800	09Г2С	0,3	200	7200	5	200	150	-	1,0
5	2800	20К	0,8	200	9000	12	300	150	5	0,8
6	2800	10X17H13M2T	1,2	200	1200	16	300	250	5	1,0
7	3000	ВСтЗсп	1,0	300	1300	18	500	250	-	1,2

## Продолжение таблицы 7

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
8	2000	ВСтЗсп	0,6	100	2500	8	150	150	-	1,0
9	2800	09Г2С	0,5	150	7200	8	200	150	-	0,8
10	2400	20К	0,5	200	4500	8	250	200	5	1,0
11	2800	10X17H13M2T	0,4	250	9000	8	300	200	-	1,2
12	2800	08X18H10T	0,5	300	7200	10	400	300	10	1,0
13	2000	08X18H10T	1,6	20	2500	16	200	200	5	1,2
14	1800	20К	0,6	20	2800	6	180	200	-	1,0
15	1000	12X18H10T	1,2	20	1800	8	120	150	10	1,0
16	1000	ВСтЗсп	1,0	20	2000	8	150	250	-	1,2
17	1200	12X18H10T	0,6	20	1500	5	200	250	-	1,0
18	1800	12X18H10T	0,8	20	2800	7	100	120	-	1,0
19	1800	12X18H10T	0,8	20	2500	7	200	200	10	1,0
20	1200	09Г2С	0,8	100	2500	6	150	200	-	1,2



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования**  
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**  
Невинномысский технологический институт (филиал)

**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

методические указания к курсовому проектированию  
для студентов направления 15.04.02 Технологические машины и обо-  
рудование

Невинномысск 2022

Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Методы оптимизации проектирования технологического оборудования» разработаны в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта в части содержания и уровня подготовки выпускников по направлению 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

Методические указания предназначены для студентов очно-заочной формы обучения, выполняющих курсовые проекты по ПТМО. Указания включают требования к содержанию и оформлению курсового проекта, методические рекомендации по расчету оборудования, список рекомендуемой литературы.

Рекомендации по проектированию технологических машин и оборудования могут быть использованы и при выполнении соответствующих разделов ВКР.

Составитель:

Рецензент:

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ .....	3
1 ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	4
2 СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА .....	4
2.1 Тематика курсового проектирования.....	5
2.2 Пояснительная записка .....	5
<b>ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</b> .....	5
<i>Описание технологической схемы узла</i> .....	5
<i>Обзор и анализ существующих конструкций</i> .....	5
<i>Обоснование оптимизации оборудования для проектирования</i> .....	5
<b>АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</b> .....	6
<i>Технологический расчет</i> .....	6
<i>Конструирование и расчет на прочность корпусных элементов</i> .....	6
<i>Список использованных источников</i> .....	6
<b>ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</b> .....	6
3 ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТА.....	6
4 ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	6
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	7
Учебники, учебные пособия и монографии .....	7
Пособия по проектированию и примеры расчетов .....	8
Справочная литература.....	10

## 1 ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Целью курсового проектирования является закрепление и углубление теоретических знаний путем применения их к решению конкретных расчетно-конструкторских задач при проектировании технологического оборудования, используемого в различных отраслях химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

## 2 СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом до 30 страниц формата А4 и графической части объемом 3 листа формата А1.

Пояснительная записка включает:

титульный лист на курсовой проект;

задание на проектирование;

ведомость технического проекта;

титульный лист на пояснительную записку;

содержание;

введение;

*теоретическую часть:*

описание схемы технологического узла;

краткий обзор и анализ существующих конструкций оборудования, аналогичных проектируемому;

обоснование прототипа оборудования для проектирования;

*аналитическую часть:*

технологический расчет проектируемого оборудования;

конструирование и расчет на прочность корпусных элементов;

заключение;

список использованных источников;

приложение.

Графическая часть включает: чертеж схемы технологического узла - 1 лист формата А2, чертеж общего вида проектируемого аппара-

рата (машины) - 1 лист формата А1, 1 лист формата А2 (выноски узлов); чертежи 2-3 сборочных единиц оборудования на 1 лист формата А1.

## **2.1 Тематика курсового проектирования**

В состав проекта входит технологический расчет проектируемого аппарата (машины) технологического узла, конструирование и расчет на прочность корпусных элементов. В качестве оборудования для проектирования назначаются:

1. Оптимизация оборудования для реакционного процесса.
2. Оптимизация оборудования для массообменного процесса.
3. Оптимизация оборудования для теплового процесса.
4. Оптимизация оборудования для гидродинамического процесса.
5. Оптимизация оборудования для механического процесса.

## **2.2 Пояснительная записка**

*Во введении* обосновывают необходимость и актуальность выполнения проекта по данной теме, исходя из перспектив развития химической технологии, нефтехимии, биотехнологии и химического машиностроения. Указывают также роль и место в народном хозяйстве отраслей - производителя и потребителя продукта, получение которого обусловлено заданием на курсовое проектирование. Кратко характеризуют технологию получения продукта и место проектируемого оборудования в технологическом узле.

### ***ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ***

*Описание технологической схемы узла.*

*Обзор и анализ существующих конструкций оборудования, аналогичных проектируемому.*

*Обоснование оптимизации оборудования для проектирования.*

## **АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Технологический расчет**

#### **Конструирование и расчет на прочность корпусных элементов**

**В заключении** подводят итоги проделанной работы: констатируют, какое оборудование спроектировано, какие его технико-экономические характеристики (производительность, расход теплоносителей, рабочие температуры и давление, поверхность теплообмена, число тарелок и т.п.) и дают оценку спроектированного аппарата (машины) с точки зрения его соответствия выданному заданию.

#### **Список использованных источников**

Литературные источники (включая регламенты, нормативно – технические документы) располагают в порядке упоминания в тексте пояснительной записки. Описание источников должно соответствовать требованиям ГОСТ.

**В приложения** входят спецификации к чертежам сборочных узлов оборудования, различные таблицы, графики и др.

## **ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **3 ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТА**

Пояснительную записку и графическую часть курсового проекта оформляют в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и методических указаний (СКФУ, кафедры ХТМАХП НТИ).

### **4 ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Законченный проект после проверки руководителем переплетается, подписывается автором проекта, руководителем и утверждается

заведующим кафедрой.

Проект направляется на защиту на очередном заседании комиссии, создаваемой на кафедре. Студент при защите в коротком докладе (5 – 7 мин.) должен раскрыть задачи, решаемые в проекте, их актуальность, принятые решения. После доклада члены комиссии могут задавать студенту вопросы по содержанию проекта. При ответе на вопросы разрешается пользоваться пояснительной запиской.

Комиссия дает оценку качеству выполненного проекта и его защите и выставляет студенту оценку.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Учебники, учебные пособия и монографии**

1. Процессы и аппараты химической технологии в 5-ти томах. / Под ред. А.М. Кутепова – М.: Логос, 2001 - 2005г.г.

2. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии./ Скобло А.И. и др. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2000. 677 с.

3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973. 742 с.

4. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. - М.: Химия, 1978. 277 с.

5. Машины и аппараты химических производств. /Под ред. И.И. Чернобыльского. - М.: Машиностроение, 1974. 456 с.

6. Рамм В.М. Абсорбция газов. - М.: Химия, 1976. 656 с.

7. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1966. 848 с.

8. Муштаев В.И., Тимонин А.С., Лебедев В.Я. Конструирование и расчет аппаратов со взвешенным слоем. - М.: Химия, 1991. 344 с.

9. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. - М.: Энергия, 1977. 424 с.

10. Жужиков В.А. Фильтрация. - М.: Химия, 1980. 400 с.

11. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности.

М.: Химия, 1977. 368 с.

12. Исламов М.Н. Печи химической промышленности. - Л.: Химия, 1975. 432 с.

13. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. – М.: Химия, 1970. 429 с.

14. Рашковская Н.Б. Сушка в химической промышленности. – Л.: Химия, 1977. 77с.

15. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. - М.: Машиностроение, 1987. 432с.

16. Каталымов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. 240 с.

17. Коузов П.А., Малыгин А.Д., Скрыбин Г.М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. - Л.: Химия, 1982. 256с.

18. Гуревич Д.Ф., Шпаков О.Н., Вишнев Ю.Н. Арматура химических установок. - Л.: Химия, 1979. 320с.

19. Берд Р., Стьюарт В., Лайфут Е. Явления переноса. – М.: Химия, 1974. 688с.

### **Пособия по проектированию и примеры расчетов**

20. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. / Под ред. Ю.И. Дытнерского - М.: Химия, 1983. 272 с.

21. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу "Процессы и аппараты химической технологии". - Л.: Химия, 1981. 552 с.

22. Флореа О., Смигельский О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. - М.: Химия, 1971. 448 с.

23. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. - М.: Химия, 1976. 334 с.



24. Кузнецов А.А., Судаков Е.Н. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов. Справочное пособие. – М.: Химия, 1983. 224 с.
25. Тютюнников А.Б., Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. Основы расчета и конструирования массообменных колонн. – Киев: Выща шк., 1989. 223 с.
26. Эмирджанов Р.Т., Лемберанский Р.А. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии. - М.: Химия, 1989. 192 с.
27. Технологические расчеты установок переработки нефти. / Танатаров М.А. и др. – М.: Химия, 1987. 352 с.
28. Сарданашвили А.Г., Львова А.И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа. – М.: Химия, 1973. 272 с.
29. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. / Под ред. В.Н. Соколова. - Л.: Машиностроение, 1982. 384 с.
30. Свидченко А.И., Проскурнин А.Л. Ректификация бинарных смесей. Методика расчетная. Учебное пособие. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2002. 85 с.
31. Свидченко А.И. Расчет пневмотранспорта зернистых материалов. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Процессы и аппараты химической технологии" для студентов специальностей 170500 – «Машины и аппараты химических производств» и 250200 – «Химическая технология неорганических веществ». - Невинномысск: НТИ СевКавГТУ, 2002. 22 с.
32. Чеботарев Е.А., Свидченко А.И. Расчет горизонтального кожухотрубного теплообменника. Методические указания к практическим занятиям по дисциплинам «Процессы и аппараты химической технологии», «Процессы и аппараты пищевых производств», к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальностей 170500, 170600, 250200 и 250400. - Невинномысск: НТИ СевКавГТУ, 2002. 26 с.

33. Филиппов Л.П. Прогнозирование теплофизических свойств жидкостей и газов.– М.: Энергоатомиздат, 1988. 168 с.

34. Свидченко А.И. Расчет свойств рабочих веществ химической технологии. Физико-химические характеристики. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Процессы и аппараты химической технологии" для студентов специальностей 170500 – «Машины и аппараты химических производств» и 250200 – «Химическая технология неорганических веществ». - Ставрополь: СевКавГТУ, 2002. 29 с.

35. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. - М.: Высш. шк., 1989. 304 с.

36. Кувшинский М. Н., Соболева А.П. Курсовое проектирование по предмету "Процессы и аппараты химической технологии". - М.: Высшая школа, 1980. 223 с.

37. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. 351 с.

### **Справочная литература**

38. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. - Калуга: изд. Н. Бочкаревой, 2002. т.1, 852 с.; т.2, 1028 с.; т.3, 968 с.

39. Объемные компрессоры. Атлас конструкций. / Под ред. Г.А. Поспелова. – М.: Машиностроение, 1994. 120 с.

40. Справочник химика. М. - Л.: Химия, 1962. т. 1, 1070 с.; 1964. т. 3, 1004 с.; 1965. т. 4, 976 с.; 1966. т. 5, 974 с.; 1967. т. 6, 1012 с.

41. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: Справочник. / Под ред. Е. Н. Судакова. - М.: Химия, 1979. 568 с.

42. Справочник по пыле- и золоулавливанию. / Под ред. Л. А. Русанова. - М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.

43. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. 720 с.

44. Морачевский А.Г., Сладков И.Б. Физико-химические свойства молекулярных неорганических соединений (экспериментальные данные и методы расчета). Справ. изд. – СПб.: Химия, 1996. 312 с.
45. Рудин М.Г., Драбкин А.Е. Краткий справочник нефтепереработчика. – Л.: Химия, 1980. 328 с.
46. Справочник азотчика. – М.: Химия, 1986. 512 с.
47. Тепловая изоляция. Справочник строителя./ Под ред. Г.Ф. Кузнецова. - М.: Стройиздат, 1985. 421 с.

# МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

методические указания к курсовому проектированию  
для студентов направления 15.04.02 Технологические машины и обо-  
рудование

Составители: *доц. Свидченко А.И.*

Рецензент: *доц. А.М. Новоселов*

Редактор

---

Подписано в печать      20    г.      Формат 60 x 84 1/16

Усл. печ. л.

Тираж 50

Невинномысский технологический институт (филиал)  
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

---

Отпечатано в типографии НТИ (филиала) ФГАОУ ВО «СКФУ»  
357108, г. Невинномысск, ул. Гагарина, 1