

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям по дисциплине
«Методы оптимизации проектирования технологического
оборудования»
для студентов заочной формы обучения направления подготовки
15.04.02 Технологические машины и оборудование

Невинномысск 2026

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.

*Составитель: Петенёв А.Н. канд. техн. наук, доцент, доцент
кафедры МиАХП*

Содержание

Тема 2. Основные классы задач оптимизации. Практическое занятие 1. Расчет толщины стенки обечайки и днища, нагруженных внутренним давлением.....	4
Тема 2. Основные классы задач оптимизации. Практическое занятие 2. Расчет толщины стенки аппарата, нагруженного наружным давлением, осевой сжимающей силой и изгибающим моментом.....	8
Тема 2. Основные классы задач оптимизации. Практическое занятие 3. Расчет на прочность соединений обечайка - днище.....	11
Тема 3. Этапы решения задач оптимизации Практическое занятие 4. Расчет на укрепления отверстий. Выбор типа укрепления.....	14
Тема 3. Этапы решения задач оптимизации Практическое занятие 5 Оборудование для гидромеханических процессов.....	17
Список литературы.....	20

Тема 2. Основные классы задач оптимизации.

Практическое занятие 1. Расчет толщины стенки обечайки и днища, нагруженных внутренним давлением

Цель занятия: 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 σ_m и σ_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 σ_m – меридиональное напряжение;

σ_k – кольцевое напряжение;

ρ_m, ρ_k – радиусы кривизны срединной поверхности оболочки.

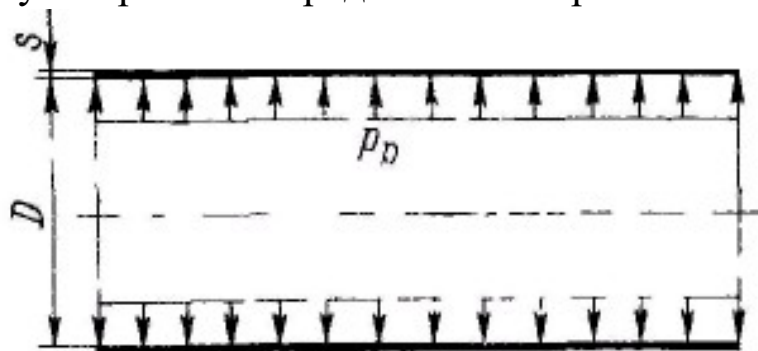


Рисунок 1 – Расчетная схема цилиндрической обечайки

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

Исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки s определяют по формулам:

$$S_p = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \varphi [\sigma] - p_p}, \frac{p_u \cdot D}{2 \cdot \varphi [\sigma]_u - p_u} \right\};$$

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

где p_p – расчетное давление;

p_u – пробное давление;

φ – 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:

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

$$S_k = S_{к.р} + c + c_0,$$

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

α – угол при вершине конуса, градусы.

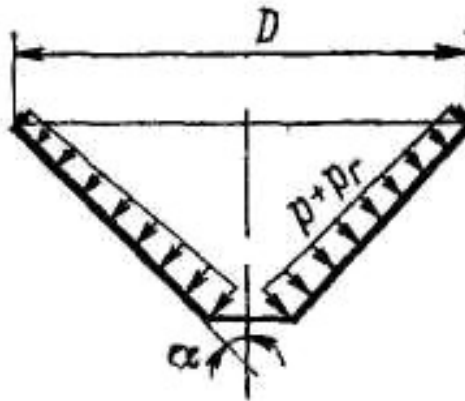


Рисунок 2 – Расчетная схема конического днища

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

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

$$S = S_{э.р} + c + c_0,$$

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

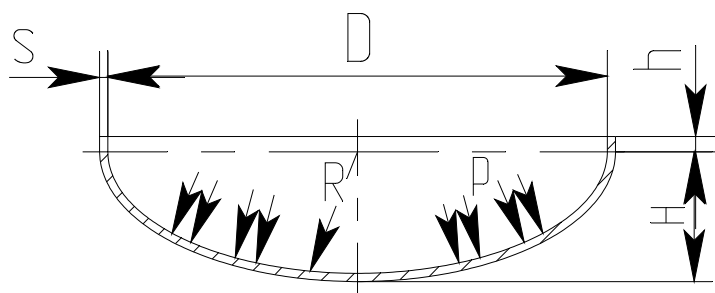


Рисунок 3 – Расчетная схема эллиптического днища

Затем для днищ проводится проверка допустимого 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 ³	Марка стали	Скорость коррозии Π , мм/год	Срок эксплуатации τ_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, ρ_c , кг/м ³	Марка стали	Скорость коррозии P , мм/год	Срок эксплуатации τ_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.

Тема 2. Основные классы задач оптимизации.

Практическое занятие 2. Расчет толщины стенки аппарата, нагруженного наружным давлением, осевой сжимающей силой и изгибающим моментом

Цель занятия: 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).

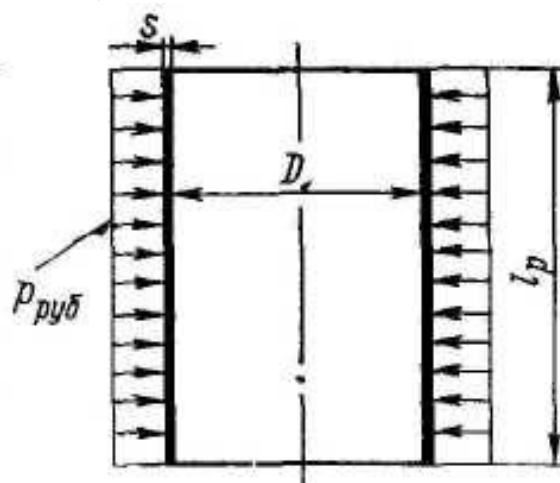


Рисунок 4 – Расчетная схема цилиндрической обечайки, нагруженной наружным давлением

Расчетная и исполнительная толщина стенки определяется по формулам:

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

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

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

$p_{н.р}$ – рабочее давление;

s – прибавка к расчетной толщине обечайки;

s_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 внутреннего D_0 , мм	Высота цилиндрической части $H_{ц}$, м	Остаточное давление в аппарате $p_{ост}$, МПа	Температура t_c , $^{\circ}\text{C}$	Марка стали	Прибавка к расчетной толщине s , 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 _ц , м	Остаточное давление в аппарате p _{ост} , МПа	Температура t _с , °С	Марка стали	Прибавка к расчетной толщине с, мм	Масса крышки с приводом m, кг
1	1000	1100	0,010	25	ВСтЗсп	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

Тема 2. Основные классы задач оптимизации.

Практическое занятие 3. Расчет на прочность соединений обечайка - днище

Цель занятия: 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).

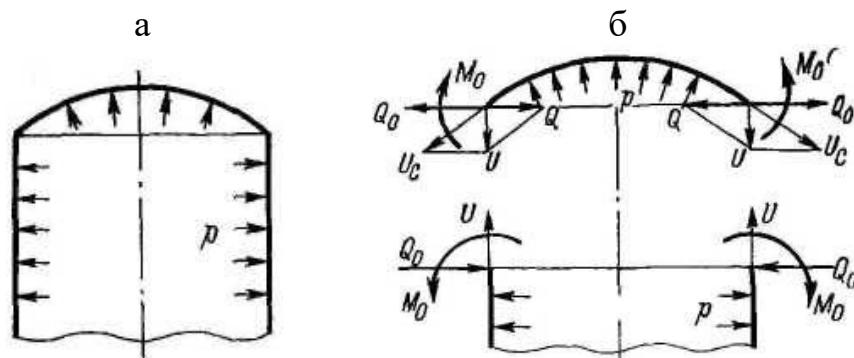


Рисунок 5 – Схема к определению краевых сил и моментов:
а – соединение сферической и цилиндрической оболочек; б –
расчетная схема; U и U_c – меридиональные усилия соответственно
цилиндрической и сферической оболочек.

Основными уравнениями для определения напряжений являются уравнения совместности деформаций:

$$\begin{cases} \Delta_p^u - \Delta_{Q_0}^u + \Delta_{M_0}^u = \Delta_p^c + \Delta_{(Q_0-Q)}^c + \Delta_{M_0}^c; \\ \Theta_p^u - \Theta_{Q_0}^u + \Theta_{M_0}^u = -\Theta_p^c - \Theta_{(Q_0-Q)}^c - \Theta_{M_0}^c. \end{cases}$$

где $\Delta_p^u, \Delta_{Q_0}^u, \Delta_{M_0}^u, \Theta_p^u, \Theta_{Q_0}^u, \Theta_{M_0}^u$ – 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 α °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	080	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 обе-

чаек, имеющих разную толщину стенки $s=1$ мм, по данным таблицы 6.

Таблица 6 – Параметры вертикального колонного аппарата постоянного сечения

№	Внутренний диаметр аппарата D, мм	Внутреннее давление p_p , МПа	Температура стенки t , °С	Марка стали (меди, латуни, титана)	Толщина стенки, мм	
					s_1	s_2
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

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_{yp} 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) $D_{вн}$, мм	Марка стали	Расчетное давление, МПа	Расчетная температура t , °C	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	ВСт3сп	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	ВСт3сп	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	ВСт3сп	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

Тема 3. Этапы решения задач оптимизации

Практическое занятие 5 Оборудование для гидромеханических процессов

Цель занятия: Расчет оборудования для гидромеханических процессов.

Необходимо повторить виды гидромеханического оборудования, движущую силу гидромеханических процессов.

В качестве объектов изучения рекомендуется рассмотреть фильтры, центрифуги, циклоны, мешалки, отстойники, электродегидраторы нефти, в том числе:

- конструкцию оборудования и составных частей;
- достоинства и недостатки отдельных решений;
- принципы использования по назначению;
- принципы безопасной эксплуатации;
- принципы материального оформления, проектирования и выбора оборудования по каталогу.

Результатом проведения гидромеханических процессов может быть либо разделение неоднородных систем на составные части, либо образование их путем смешения.

Оборудование для гидромеханических процессов отличается большим разнообразием, конструкция его зависит от конкретного назначения процесса и характеристики образуемой или разделяемой среды неоднородной системы.

Порядок расчета отдельных видов гидромеханического оборудования приведен ниже.

5.1 Фильтровальное оборудование

Выбор необходимого типа фильтра проводится на основе анализа физико-химических свойств разделяемой суспензии и образующихся осадка и фильтрата, технологических требований, предъявляемых к процессу разделения и экономических факторов. Так как

при выборе типа фильтра невозможно дать всесторонних рекомендаций, учитывающих все перечисленные аспекты, при предварительном выборе типа фильтра можно ориентироваться на данные таблицы 5.1, учитывающие только некоторые основные свойства суспензии.

Подбор фильтра осуществляется в общем случае следующим образом:

- по общей требуемой поверхности фильтрования подбирается по каталогам стандартный фильтр;
- определяется число фильтров, обеспечивающих заданную производительность.

При фильтровании перепад давления и гидравлическое сопротивление слоя осадка с течением времени изменяются. Поэтому переменную скорость фильтрования выражают в дифференциальной форме

$$w = \frac{dV}{Fd\tau}, \quad (5.1)$$

где V – объем фильтрата, m^3 ; F – площадь поверхности фильтрования, m^2 ; τ – продолжительность фильтрования, с.

Исследованиями установлено, что скорость процесса фильтрования прямо пропорциональна движущей силе ΔP и обратно пропорциональна сопротивлению

$$w = \frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot (r_0 \cdot x_0 \cdot \frac{V}{F} + R_{\text{фп}})}, \quad (5.2)$$

где ΔP – перепад давления на перегородке, Па; μ – динамический коэффициент вязкости жидкой фазы суспензии, Па·с; $r_0 \cdot x_0 \cdot \frac{V}{F}$ – сопротивление слоя осадка, m^{-1} ; r_0 – удельное объемное сопротивление слоя осадка, m^{-2} ; x_0 – отношение объема осадка к объему фильтрата; $R_{\text{фп}}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, m^{-1} .

Для ориентировочных расчетов r может быть использована эмпирическая формула

$$r_0 = \frac{0,69 \cdot 10^8 \cdot (\Delta P)^{0,33}}{\mu}. \quad (5.3)$$

При фильтровании с постоянной разностью давлений ($\Delta P = \text{const}$)

интегрирование уравнения (5.2) дает

$$V^2 + 2 \frac{R_{\text{фп}} \cdot F}{r_0 \cdot x_0} \cdot V = 2 \frac{\Delta P \cdot F^2}{\mu \cdot r_0 \cdot x_0} \tau. \quad (5.4)$$

Величиной $R_{\text{фп}}$ в большинстве случаев пренебрегают.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

5.1 Рассчитать и подобрать фильтр для разделения суспензии по исходным данным приведенным в таблице 5.2. Выполнить анализ влияния перепада давления на поверхность фильтрования (в графической форме).

Список литературы

1. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. - Калуга: изд. Н. Бочкаревой, 2002. – Т.1, 852с.; т.2, 1028с.; т.3, 968с.
2. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. / Скобло А.И. и др. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2000. – 677 с.
3. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справ. /Под ред. Е.Н. Судакова.- М.: Химия, 1979. - 568с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1981. – 560 с
5. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. / Под ред. Ю.И. Дытнерского – М.: Химия, 2008. – 496 с.
6. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. – М.: Альфа-М, 2006. - 608 с.
7. Поникаров И.И. и др. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (Примеры и задачи). – М.: Альфа-М, 2008. - 720 с.

Таблица 5.1 – Влияние свойств суспензий и технологических условий на выбор типа фильтра

Фактор, влияющий на выбор фильтра	Периодического действия			Непрерывного действия				
	Емкостные	Фильтр-прессы		Листовые	Барabanные		Дисковые	Ленточные
		Рамные	Горизонтальные		с ВП	с НПФ		
<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>
Начальная объемная концентрация суспензии, %								
до 0,5	1	2		2	-		-	-
до 1,0	2-3	1		1-2	-		-	-
до 15	4	2-3		3-4	1-2		2	1
выше 15	4	4		4	1		1-2	2-3
Возможность получения чистого фильтрата	1-2	1		1	3		3	4
Возможность промывки осадка	4	2		3	1		-	2
Возможность изготовления из кислотостойкой стали	1	4		4	1		4	3
Скорость осаждения твердой фазы, мм/с	не ограни-	18	не ограничена	медленно	12	18	18	12

	ченна							
--	-------	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 5.1

<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>
Скорость образования осадка, мм/мин	10	10	1	не ограничена	2	1	2,7	1
Скорость фильтрования, 10^4 м/с	400	400	0,08	1,7	400	400-0,2	1,7	1,7

Таблица 5.2 – Исходные данные к задаче 5.1

№ варианта	Объем фильтра, V, м ³ /ч	ΔP , Па	μ , Па·с	Объем осадка, G, м ³ /ч	Диапазон изменения перепада давления, Па · 10 ⁻⁴	Начальная объемная концентрация суспензии, %
1	20	$3,3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$	30	3-3,5	5
2	21	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$	30	4,8-5,3	5
3	22	$4,5 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^{-4}$	31	4,3-4,7	5
4	23	$4,1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$	31	4-4,6	5
5	24	$3,5 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^{-4}$	32	3,2-3,7	5
6	15	$3,8 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$	28	3,4-3,9	10
7	16	$4,2 \cdot 10^4$	$8,5 \cdot 10^{-4}$	27	4-4,5	10
8	17	$3,3 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	29	3,2-3,8	10
9	15	$4,5 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	30	4,1-4,7	10
10	16	$5 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	30	4,6-5,2	10
11	10	$3,1 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	26	3,0-3,7	15
12	11	$4,2 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$	26	3,8-4,5	15
13	12	$4,5 \cdot 10^4$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	27	4,3-4,8	15
14	13	$3,5 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	27	3,0-3,9	15
15	14	$3,7 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$	28	3,5-4,0	15