

ИДЗ 5. Расчёт вертикального гравитационного сепаратора

5.1 Расчет вертикального гравитационного сепаратора. Теоретическая часть [1]

Размер вертикального гравитационного сепаратора зависит в основном от расхода газа и определяется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{V z T v_r \rho_r}{82 P d^2 (\rho_n - \rho_r)}}, \quad (5.1)$$

где D – внутренний диаметр сепаратора, м; V – дебит газа при нормальных условиях, м³/сут.; P – давление в сепараторе, Н/м²; T – абсолютная температура в сепараторе; z – коэффициент сжимаемости газа в сепараторе при рабочем давлении; d – диаметр капель жидкости, м; v – кинематическая вязкость газа, м²/с; ρ_z , ρ_n – плотность газа и нефти соответственно при давлении и температуре в сепараторе, кг/м³.

Кинематическая вязкость газа, приведенная к условиям в сепараторе, м²/с

$$V_z = v_{0z} \frac{P_0(T_0 + C_r)}{P(T + C_r)} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,5}, \quad (5.2)$$

где $v_0 = 14,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с – кинематическая вязкость для метана ($12,9 \cdot 10^{-6}$ м²/с – для прочих газов), $C_r = 210$ – температура постоянная для газа.

Плотность газа, приведенная к условиям в сепараторе, кг/м³,

$$\rho_r = \rho_0 \frac{P T_0}{P_0 T z}, \quad (5.3)$$

где ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях (для метана $\rho_0 = 0,72$ кг/м³).

Пропускная способность сепаратора по жидкости, м³/сут.,

$$Q_{\text{ж}} = 36964 \frac{D^2 (\rho_{\text{ж}} - \rho_r) d^2}{v_r \rho_r} \quad (5.4)$$

Скорость движения газа в вертикальном сепараторе, м/с,

$$V_r = 5,56 \cdot 10^{-3} \frac{V T z}{D^2 P}. \quad (5.5)$$

Скорость осаждения капель жидкости или твердых частиц, имеющих форму шара,

$$И_ч = \frac{d^2(\rho_n - \rho_r)g}{18\nu_r\rho_r}, \quad (5.6)$$

Для эффективной работы сепаратора должно соблюдаться соотношение

$$И_ч \geq 1,2V_r.$$

Высота вертикального сепаратора обычно не превышает 4-5 его диаметров.

Толщина стенки цилиндрической части корпуса, м,

$$S = \frac{PD_{cp}}{2R_z\varphi} + C, \quad (5.7)$$

где – R_z – допускаемое напряжение, МПа; φ – коэффициент прочности сварного шва ($\varphi = 0,85$ при подварке стыковых швов с внутренней стороны и $\varphi = 0,65$ без подварки); C – запас на коррозию 0,004 м.

Днища сосудов, особенно верхние, чаще выполняют эллиптическими. Толщина стенки эллиптических отбортованных днищ, м,

$$S_d = \frac{PD_{cp}y_3}{2R_z\varphi} + C, \quad (5.8)$$

где – y_3 – коэффициент перенапряжения днища (определяется по графику в зависимости от H/D); H – эллиптического днища.

Толщину стенки эллиптического днища можно также определить через наружный диаметр:

$$S = \frac{PD_n y_3}{2R_z\varphi + Py_3} + C, \quad (5.9)$$

где – D_n – наружный диаметр сепаратора, м; P – давление в сепараторе, Н/м².

Напряжения, возникающие в эллиптическом днище, Н/м²,

$$\sigma = \frac{PD_{cp}y_3}{2\varphi(S - C)}; \quad (5.10)$$

$$\sigma = \frac{P D_n - (S - C) y_3}{2\varphi(S - C)}. \quad (5.11)$$

Нижние днища часто выполняют коническими. Толщина стенки конического днища определяется по формуле

$$S = \frac{PD}{2R_z \varphi \cos \alpha} + C, \quad (5.12)$$

где α – угол наклона направляющей конуса к вертикали.

На рис. 5.1 приведена схема корпуса вертикального сепаратора.

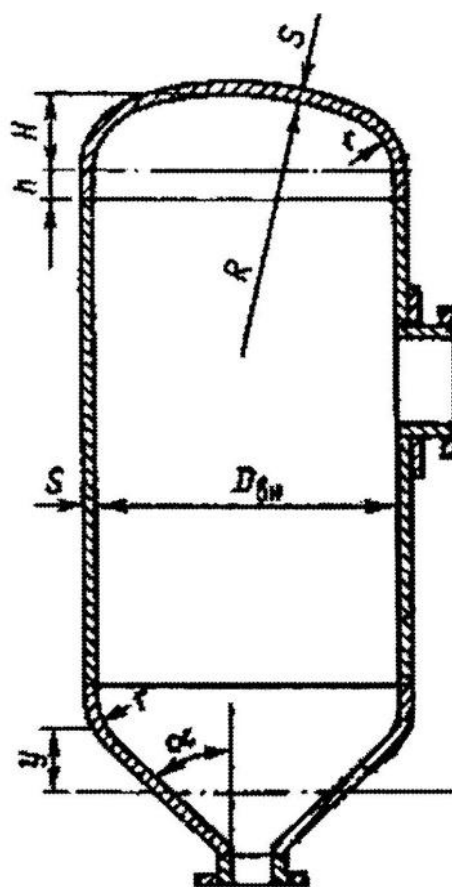


Рис. 5.1. Схема корпуса вертикального сепаратора

На рис.5.2 приведена зависимость псевдокритических давлений и температур от удельного веса газа.

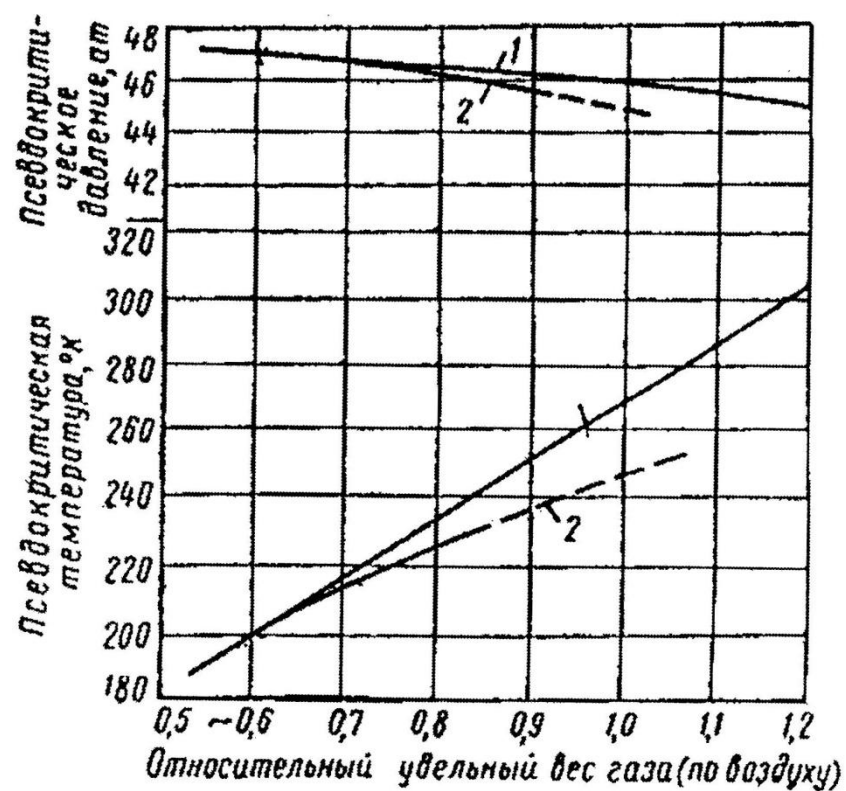


Рис. 5.2. Зависимость псевдокритических давлений и температур от удельного веса газа: 1 – для обычных газовых месторождений; 2 – для газоконденсатных месторождений

Кривая для определения коэффициента перенапряжения для расчета эллиптических днищ показана на рис. 5.3.

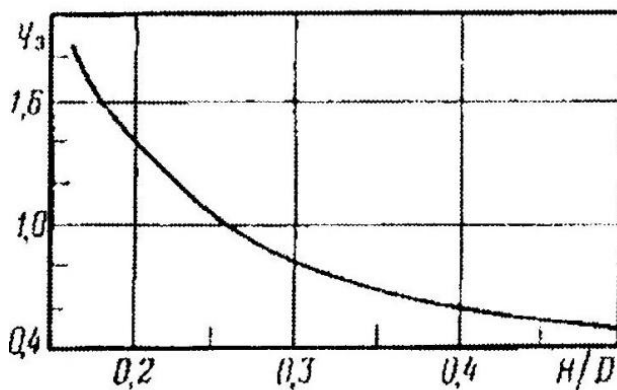


Рис. 5.3. Коэффициент перенапряжения для расчета эллиптических днищ

На рис. 5.4. приведены графики Брауна для определения коэффициента сжимаемого газа.

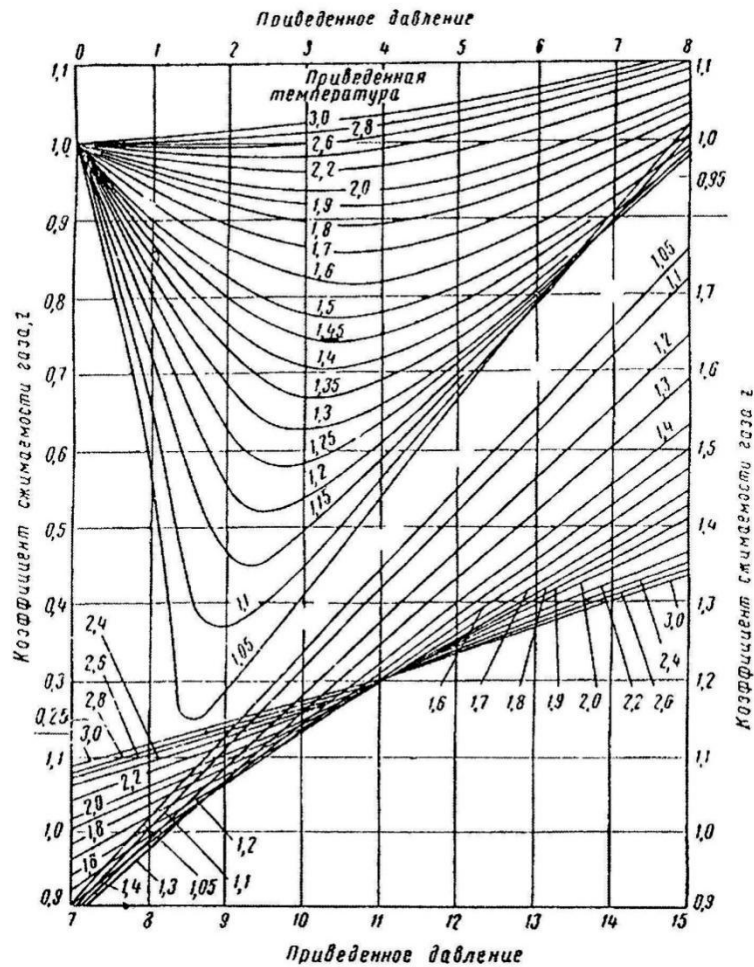


Рис. 5.4. Графики Брауна для определения коэффициента сжимаемости газа

5.2. Пример решения

Дано: Рассчитать вертикальный гравитационный сепаратор, если дебит газа $V = 15000 \text{ м}^3/\text{сут}$; $P = 1,6 \text{ МПа}$; $t = 30^\circ$; $d = 0,5 \text{ см}$; $\rho_o = 1,12 \text{ кг/м}^3$; $\rho_n = 850 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Предварительно определим коэффициент сжимаемости газа в сепараторе z при рабочем давлении по графикам (см. рис. 5.2 и 5.4).

Относительная плотность газа $\rho = \rho_o/\rho_v = 1,12/1,22 = 0,92$. По графикам на рис. 5.2 найдем псевдокритическое давление и температуру (кривая 2):

$$P_{п.к.} = 45,5 \text{ кг/м}^3; T_{п.к.} = 240^\circ\text{К}.$$

Далее находим приведенные давление и температуру:

$$P_{пр} = 16/45,5 = 0,35;$$

$$T_{\text{пр}} = 303/240 = 1,26.$$

По графикам (см. рис. 5.4) находим $z = 0,97$.

Плотность газа, приведенную к условиям в сепараторе, найдем по формуле (5.3):

$$\rho_r = 1,12 \frac{1,6 \cdot 273}{0,103 \cdot 303 \cdot 0,97} = 16,16 \text{ кг/м}^3.$$

По формуле (5.2) определим кинематическую вязкость газа, приведенную к условиям в сепараторе:

$$\nu_r = 14,5 \cdot 0,97 \cdot \frac{0,103(273+210)}{1,6(303+210)} \cdot \frac{303}{273}^{\frac{1}{2}} = 0,9 \text{ сСт.}$$

Внутренний диаметр вертикального гравитационного сепаратора определим по формуле (5.1.):

$$D = \sqrt{\frac{15000 \cdot 0,97 \cdot 303 \cdot 0,97 \cdot 16,16}{82 \cdot 1,6 \cdot 10^6 \cdot 0,005^2 (850 - 16,16)}} = 4,84 \text{ м.}$$

По формуле (5.4) найдем пропускную способность сепаратора по жидкости:

$$Q_{\text{ж}} = 36964 \frac{4,84^2 (850 - 16,16) 25 \cdot 10^{-6}}{0,9 \cdot 16,16} = 1241 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

По формуле (5.5) определим скорость движения газа в вертикальном сепараторе:

$$V_r = 5,56 \cdot 10^{-3} \frac{15000 \cdot 303 \cdot 0,97}{4,84^2 \cdot 1,6 \cdot 10^6} = 0,654 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Скорость осаждения капель жидкости в сепараторе по формуле (5.6)

$$I_{\text{ч}} = \frac{25 \cdot 10^{-6} (850 - 16,16) \cdot 9,81}{18 \cdot 0,9 \cdot 16,16} = 0,781 \cdot 10^{-3} \text{ м/с; } I_{\text{ч}} > V_r$$

Толщину стенки цилиндрической части сепаратора находим по формуле (5.7), приравняв D к $D_{\text{ср}}$:

$$S = \frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 4,84}{2 \cdot 245 \cdot 10^6 \cdot 0,85} + 0,004 = 0,0225 \text{ м} = 22,5 \text{ мм,}$$

где $R_z = 295/1.2 = 245$ МПа для Стали 35; $\phi = 0,85$ – подварка швов с внутренней стороны.

Уточним толщину стенки, полагая $D_{cp} = D + S + 4,862$ м:

$$S = \frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 4,862}{2 \cdot 245 \cdot 10^6 \cdot 0,85} + 0,004 = 0,0227 \text{ м} = 22,7 \text{ мм.}$$

Толщину стенки эллиптического отбортованного днища находим по формуле (5.8).

Принимая, что $H = 1,4$ м и $H/D = 0,29$ по рис. 5.3 найдем, что $y_3 = 0,82$.

Тогда

$$S = \frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 4,862 \cdot 0,82}{2 \cdot 245 \cdot 10^6 \cdot 0,85} + 0,004 = 0,0193 \text{ м} = 19,3 \text{ мм.}$$

Напряжения, возникающие в эллиптическом днище, найдем по формуле (5.10):

$$\sigma = \frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 4,862 \cdot 0,82}{2 \cdot 0,85(0,0193 - 0,004)} = 245 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

Толщину стенки наклонного конического днища определим по формуле (5.12), полагая, что $\alpha = 35^\circ$:

$$S = \frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 4,84}{2 \cdot 245 \cdot 0,85 \cdot 0,819} + 0,004 = 0,0267 \text{ м} = 26,7 \text{ мм.}$$

5.3. Расчет вертикального гравитационного сепаратора. Индивидуальные задания

Цель работы: расчет напряжений, возникающих в конструктивных элементах вертикального гравитационного сепаратора, проектный расчет элементов оболочечной конструкции сепаратора.

Варианты заданий приведены в табл. 5.1.

Таблица 3.1 Варианты заданий

Номер варианта	Дебит газа V , м ³ /сут.	P , МПа	d , см	ρ_0 , кг/м ³	ρ_H , кг/м ³	t , °C
1	15000	1,0	0,5	0,72	820	15
2	14000	1,1	0,4	0,72	830	17
3	13000	1,2	0,5	0,73	840	19
4	12000	1,3	0,6	0,74	850	21
5	11000	1,4	0,7	1,75	860	23
6	10000	1,5	0,8	0,76	870	25
7	9000	1,6	0,9	0,77	880	27
8	8000	1,7	1,0	0,78	890	29
9	7000	1,8	1,2	0,80	900	31
10	6000	1,9	1,1	0,82	900	33
11	8000	2,0	1,3	0,84	910	35
12	13000	1,5	1,0	0,85	880	34
13	12000	1,4	0,9	0,83	870	32
14	11000	1,3	0,8	0,81	860	30
15	10000	1,4	0,7	0,80	850	28
16	12000	1,5	0,6	0,79	840	26
17	15000	1,1	0,5	0,72	860	15
18	13000	1,3	0,4	0,73	850	18
19	14000	1,2	0,5	0,74	840	19
20	12000	1,4	0,6	0,75	830	21
21	11000	1,5	0,7	0,76	820	25
22	10000	1,6	0,8	0,77	890	27
23	8000	1,7	0,9	0,78	880	30

24	9000	1,8	0,2	0,78	900	31
25	9500	2,0	1,2	0,80	870	30
26	16000	1,7	1,0	0,85	850	28
27	11000	1,6	1,0	0,90	840	26
28	12000	1,5	0,8	0,80	860	24
29	13000	1,4	0,9	0,70	860	26
30	14000	1,0	0,5	0,60	900	22

5.4 ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Снарев А.И. Расчеты машин и оборудования для добычи нефти и газа: учеб. Практ. Пособ./- М.: Инфра-Инженерия, 2010.-232 с.: ил.
2. Юрчук А.М. Расчеты в добыче нефти/ Москва: Недра, 1979 г.
3. Оркин К.Г., Юрчук А.М. Расчеты в технологии и технике добычи нефти/-М.: Недра, 1967.-380 с.
4. Чичеров Л.Г. Нефтепромысловые машины и механизмы/- М.: Недра, 1983.-312 с.
5. Интернет-ресурс:
http://ru.wikipedia.org/wiki/%CB%E0%EC%E8%ED%E0%F0%ED%EE%E5_%F2%E5%F7%E5%ED%E8%E5
6. Интернет-ресурс:
<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D2%F3%F0%E1%F3%EB%E5%ED%F2%ED%EE%F1%F2%FC>
7. Интернет-ресурс:
<http://сайтнефтиигаза.рф/2012/11/raschet-vertikalnogo-gravitacionnogo-separatora-po/>