

Задача 6. Расчет предохранительных устройств

а) Рассчитать предохранительный клапан сосуда, работающего под избыточным давлением пара P , кг/см² с температурой t , °С и максимальным массовым расходом пара в сосуде G , т/ч. Определить диаметр и высоту подъема предохранительного клапана. Подобрать стандартный предохранительный клапан из приложения 2. Самостоятельно определить его назначение. Записать выводы.

Таблица 1. Исходные данные

№ вар	Давление P , кг/см ²	Температура t , °С	Расход G , т/ч	Среда
1	6	140	70	вода
2	7	145	72,5	вода
3	8	150	74	вода
4	9	155	76,5	вода
5	10	160	78	вода
6	11	165	80,5	вода
7	12	170	83	вода
8	13	175	86,5	вода
9	14	180	89	вода
10	12	45	1,25	воздух
11	13	50	1,5	воздух
12	14	55	1,85	воздух
13	15	60	1,1	воздух
14	16	65	1,45	воздух
15	17	70	1,7	воздух
16	18	75	1,85	воздух
17	20	80	1,9	воздух
18	21	285	12,2	пар
19	22	290	12,7	пар
20	23	295	13,2	пар
21	24	300	13,7	пар
22	25	305	14,2	пар
23	26	310	14,7	пар
24	27	315	15,2	пар
25	28	320	15,7	пар
26	29	245	16,2	пар
27	30	250	16,7	пар
28	31	255	17,2	пар
29	32	260	17,7	пар
30	33	265	18,2	пар
31	34	270	18,7	пар

Пример решения

Рассчитать предохранительный клапан сосуда, работающего под избыточным давлением пара $P = 8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ($8 \cdot 10^5$ Па) с температурой $t = 280^\circ\text{C}$ и максимальным массовым расходом пара в сосуде $G_m = 12$ т/ч.

Расчёт сводится к определению диаметра минимального проходного сечения в седле клапана d_c и высоты подъёма клапана h с целью обеспечения расхода рабочей среды (пара, газа, жидкости) в количестве, достаточном для создания давления в сосуде в аварийном режиме, не превышающем рабочее давление более $0,5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ (0,05 МПа) для сосудов с давлением до $3 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ (0,3 МПа); на

15% для сосудов с давлением $3 \div 60 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ (0,3 ÷ 6 МПа) и на 10% для сосудов с давлением выше $60 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ (6 МПа).

Решение

Пропускная способность предохранительного клапана определяется по формуле

$$G_v = B_1 B_2 \alpha F_c \sqrt{\frac{(P+1) \cdot 10^5}{\rho}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (1)$$

где $B_1 = 0,4$ – коэффициент, учитывающий свойство перегретого пара
 $B_2 = 0,7$ – коэффициент, учитывающий перепад давления в клапане;
 $\alpha = 0,6$ – коэффициент расхода для пара и газа; F_c – площадь в минимальном проходном сечении седла клапана, м^2 ; P – избыточное давление пара в сосуде, $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$; $\rho = 3,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность пара при $P = 0,8$ МПа и $t = 280^\circ\text{C}$

Выразим площадь сечения F_c из формулы (1):

$$F_c = \frac{G_v}{B_1 B_2 \alpha \sqrt{\frac{(P+1) \cdot 10^5}{\rho}}}, \text{м}^2, \quad (2)$$

где $G_v = \frac{G_m}{\rho} = \frac{12000}{3600 \cdot 3,2} = 1,04 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$, – объёмный расход пара в сосуде.

Подставим известные величины в формулу (2):

$$F_c = \frac{1,04}{0,4 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{(8+1) \cdot 10^5}{3,2}}} = \frac{1,04}{0,168 \cdot 530,3} = 0,0116 \text{ м}^2 \text{ или } F_c = 11600 \text{ мм}^2.$$

Определим диаметр седла клапана из формулы

$$F_c = \frac{\pi d_c^2}{4}, \quad d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 11600}{\pi}} = 120,4 \text{ мм}.$$

Найдём высоту подъёма клапана h из соотношения, принимаемого в расчётах,
 $h = 0,05 \cdot d_c = 0,05 \cdot 120,4 = 6 \text{ мм}.$

Принимаем к установке на сосуде стандартный предохранительный клапан 875 – 125 – 0 с условным диаметром $d_y = 125 \text{ мм}$. Увеличение

диаметра на $\Delta = \frac{125 \cdot 100}{120,4} \% - 100\% = 3,8\%$ приведёт к снижению давления, в сосуде в случае его повышения в аварийном режиме.

Приложение 1.

Таблица 1. Плотность воздуха при давлении и температуре

T, K	$\rho, \text{кг/м}^3, \text{ при } p, \text{МПа,}$									
	0,1	0,5	1	2	3	4	5	10	15	20
70	914,6	915,7	917,0	919,5	921,8	924,1	926,3	936,3	945,0	952,8
80	869,2	870,3	871,6	874,3	876,8	879,2	881,6	892,6	902,4	911,4
90	3,984	822,0	823,7	827,1	830,4	833,6	836,6	850,4	862,6	873,5
100	3,556	19,64	769,5	774,5	779,2	783,6	787,8	806,2	821,7	835,2
110	3,215	17,25	38,74	711,3	719,0	726,0	732,4	758,5	778,8	795,8
120	2,937	15,48	33,47	85,96	639,3	653,4	665,1	705,8	733,4	754,9
130	2,705	14,08	29,82	69,10	135,5	531,5	568,7	645,4	684,6	712,4
140	2,507	12,94	27,03	59,84	102,8	169,8	318,3	573,8	631,8	668,2
150	2,336	11,99	24,80	53,46	87,65	130,5	187,8	487,8	575,0	622,4
200	1,745	8,814	17,84	36,54	56,11	76,56	97,89	214,1	324,1	407,5
250	1,394	6,999	14,06	28,37	42,90	57,61	72,49	148,0	221,2	286,9
300	1,161	5,813	11,64	23,34	35,08	46,83	58,59	116,9	172,9	224,9
350	0,9951	4,975	9,948	19,88	29,79	39,67	49,50	97,79	144,0	187,3
400	0,8706	4,349	8,690	17,34	25,95	34,50	43,00	84,55	124,2	161,7
450	0,7737	3,864	7,718	15,39	23,00	30,57	38,08	74,70	109,7	142,8
500	0,6964	3,477	6,942	13,84	20,68	27,47	34,20	67,04	98,41	128,2
600	0,5802	2,897	5,783	11,52	17,22	22,87	28,47	55,80	81,97	107,0
700	0,4973	2,483	4,957	9,877	14,76	19,60	24,41	47,88	70,43	92,08
800	0,4352	2,173	4,338	8,645	12,92	17,17	21,38	41,98	61,84	80,96
900	0,3867	1,932	3,857	7,688	11,49	15,27	19,02	37,40	55,16	72,31
1000	0,3482	1,739	3,472	6,922	10,35	13,75	17,14	33,73	49,80	65,37
1100	0,3166	1,581	3,157	6,295	9,414	12,51	15,60	30,73	45,41	59,67
1200	0,2902	1,449	2,894	5,772	8,634	11,48	14,31	28,22	41,74	54,90
1300	0,2679	1,338	2,672	5,330	7,974	10,60	13,22	26,09	38,63	50,84
1400	0,2487	1,242	2,482	4,951	7,408	9,852	12,28	24,26	35,95	47,36
1500	0,2322	1,160	2,317	4,622	6,916	9,200	11,47	22,68	33,62	44,31

Таблица 2. Удельный объем пара при температуре и давлении

Давление абсолютное, (бар)	Температура насыщенного пара, (°C)	Объем насыщенного пара, (м³ /кг)	Удельный объем перегретого пара в зависимости от температуры, (м³/кг)																											
			100 °C	110 °C	120 °C	130 °C	140 °C	150 °C	160 °C	170 °C	180 °C	190 °C	200 °C	210 °C	220 °C	230 °C	240 °C	250 °C	260 °C	270 °C	280 °C	290 °C	300 °C	310 °C	320 °C					
1	99,1	1,726																												
2	119,6	0,902	1,731	1,780																										
3	132,9	0,616			1,829	1,878																								
4	142,9	0,470			0,903	0,928	0,953	0,978	1,003	1,028	1,053	1,077	1,102	1,127	1,151	1,175	1,199	1,223	1,247	1,271	1,295	1,319	1,343	1,367	1,391					
5	151,1	0,381					0,629	0,646	0,663	0,680	0,697	0,713	0,730	0,747	0,763	0,780	0,795	0,812	0,828	0,845	0,861	0,877	0,893	0,909	0,925					
6	158,1	0,321						0,480	0,493	0,506	0,519	0,532	0,544	0,557	0,570	0,582	0,595	0,607	0,619	0,631	0,643	0,656	0,668	0,680	0,692					
7	164,2	0,277							0,391	0,401	0,412	0,423	0,433	0,443	0,454	0,464	0,474	0,484	0,494	0,503	0,513	0,523	0,533	0,542	0,552					
8	169,6	0,244							0,323	0,332	0,341	0,350	0,359	0,367	0,376	0,385	0,393	0,402	0,410	0,418	0,426	0,435	0,443	0,451	0,459					
9	174,5	0,218								0,282	0,290	0,298	0,305	0,313	0,321	0,328	0,336	0,343	0,350	0,357	0,364	0,371	0,378	0,385	0,392					
10	179,0	0,198								0,245	0,252	0,259	0,266	0,272	0,279	0,286	0,292	0,299	0,305	0,311	0,318	0,324	0,330	0,336	0,343					
11	183,2	0,180								0,222	0,228	0,235	0,241	0,247	0,253	0,259	0,265	0,270	0,276	0,281	0,287	0,293	0,298	0,304						
12	187,1	0,166								0,198	0,204	0,210	0,215	0,221	0,226	0,232	0,237	0,242	0,247	0,253	0,258	0,263	0,268	0,273						
13	190,7	0,154									0,184	0,189	0,195	0,200	0,205	0,210	0,215	0,219	0,224	0,229	0,234	0,238	0,243	0,247						
14	194,1	0,143									0,167	0,173	0,177	0,182	0,187	0,192	0,196	0,200	0,205	0,209	0,213	0,218	0,222	0,226						
15	197,4	0,134										0,158	0,163	0,167	0,172	0,176	0,180	0,184	0,188	0,192	0,196	0,200	0,204	0,208						
16	200,4	0,126											0,146	0,150	0,155	0,159	0,163	0,167	0,171	0,174	0,178	0,182	0,186	0,189	0,193					
17	203,4	0,118											0,135	0,139	0,143	0,147	0,151	0,155	0,159	0,162	0,166	0,169	0,173	0,176	0,180					
18	206,1	0,112												0,130	0,134	0,137	0,141	0,145	0,148	0,151	0,155	0,158	0,161	0,165	0,168					
19	208,8	0,106												0,121	0,125	0,129	0,132	0,135	0,139	0,142	0,145	0,148	0,151	0,155	0,158					
20	211,4	0,101												0,114	0,117	0,121	0,124	0,127	0,131	0,134	0,137	0,140	0,143	0,146	0,148					
21	213,9	0,096												0,107	0,110	0,114	0,117	0,120	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138	0,140					
22	216,2	0,092													0,104	0,107	0,111	0,114	0,117	0,119	0,122	0,125	0,128	0,130	0,133					
23	218,5	0,088													0,098	0,102	0,105	0,108	0,110	0,113	0,116	0,119	0,121	0,124	0,126					
24	220,7	0,084													0,093	0,096	0,099	0,102	0,105	0,108	0,110	0,113	0,115	0,118	0,120					
25	222,9	0,081													0,088	0,092	0,095	0,097	0,100	0,103	0,105	0,108	0,110	0,112	0,115					
26	225,0	0,078														0,087	0,090	0,093	0,095	0,098	0,100	0,103	0,105	0,107	0,110					
27	227,0	0,075														0,083	0,086	0,089	0,091	0,093	0,096	0,098	0,101	0,103	0,105					
28	229,0	0,072														0,079	0,082	0,085	0,087	0,090	0,092	0,094	0,096	0,098	0,101					
29	230,9	0,070														0,076	0,079	0,081	0,084	0,086	0,088	0,090	0,092	0,095	0,097					
30	232,8	0,067														0,073	0,075	0,078	0,080	0,082	0,085	0,087	0,089	0,091	0,093					
31	234,6	0,065															0,072	0,075	0,077	0,079	0,081	0,083	0,085	0,087	0,089					
32	236,4	0,063															0,069	0,072	0,074	0,076	0,078	0,080	0,082	0,084	0,086					
33	238,2	0,061															0,067	0,069	0,071	0,073	0,075	0,077	0,079	0,081	0,083					
34	239,6	0,059															0,064	0,067	0,069	0,071	0,073	0,075	0,077	0,079	0,080					
35	241,4	0,058															0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,074	0,076	0,078					
36	243,1	0,056															0,059	0,062	0,064	0,066	0,068	0,070	0,072	0,073	0,075					
37	244,6	0,054															0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,069	0,071	0,073						
38	246,2	0,053															0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068	0,069	0,071	0,073					
39	247,7	0,051															0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,065	0,067	0,068						
40	249,2	0,050															0,054	0,056	0,058	0,060	0,061	0,063	0,065	0,066						
41	250,7	0,049															0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,061	0,063	0,064						
42	252,1	0,048															0,050	0,052	0,054	0,056	0,058	0,059	0,061	0,063						
43	253,5	0,046																0,051	0,053	0,055	0,056	0,058	0,059	0,061						
44	254,9	0,045																0,048	0,050	0,051	0,053	0,055	0,056	0,058						
45	256,3	0,044																0,046	0,048	0,050	0,052	0,053	0,055	0,056						
46	257,6	0,043																0,045	0,047	0,049	0,050	0,052	0,053	0,055						
47	258,9	0,042																	0,044	0,046	0,047	0,049	0,051	0,052						
48	260,2	0,041																	0,042	0,044	0,045	0,047	0,048	0,049	0,051					
49	261,5	0,040																	0,041	0,043	0,044	0,046	0,047	0,048	0,050					
50	262,7	0,040																		0,041	0,043	0,044	0,046	0,047	0,048	0,050				

Таблица 3. Физические свойства воды на линии насыщения

Физические свойства воды на линии насыщения											
$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$i, \text{кДж/кг}$	$c_p, \text{кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\beta \cdot 10^4, 1/\text{K}$	$\sigma \cdot 10^4, \text{Н/м}$	Pr
0	1,013	999,9	0	4,212	0,560	13,2	1788	1,789	—0,63	756,4	13,5
10	1,013	999,7	42,04	4,191	0,580	13,8	1306	1,306	+0,70	741,6	9,45
20	1,013	998,2	83,91	4,183	0,597	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,03
30	1,013	995,7	125,7	4,174	0,612	14,7	801,5	0,805	3,21	712,2	5,45
40	1,013	992,2	167,5	4,174	0,627	15,1	653,3	0,659	3,87	696,5	4,36
50	1,013	988,1	209,3	4,174	0,640	15,5	549,4	0,556	4,49	676,9	3,59
60	1,013	983,1	251,1	4,179	0,650	15,8	469,9	0,478	5,11	662,2	3,03
70	1,013	977,8	293,0	4,187	0,662	16,1	406,1	0,415	5,70	643,5	2,58
80	1,013	971,8	335,0	4,195	0,669	16,3	355,1	0,365	6,32	625,9	2,23
90	1,013	965,3	377,0	4,208	0,676	16,5	314,9	0,326	6,95	607,2	1,97
100	1,013	958,4	419,1	4,220	0,684	16,8	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	0,685	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	0,686	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	0,686	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,35
140	3,61	926,1	589,1	4,287	0,685	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	0,684	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	0,681	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	0,676	17,2	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	0,672	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,03
190	12,55	876,0	807,8	4,459	0,664	17,2	144,2	0,165	12,6	400,2	0,965
200	15,55	863,0	852,5	4,505	0,658	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,932
210	19,08	852,8	897,7	4,555	0,649	16,7	130,5	0,153	14,1	354,1	0,915
220	23,20	840,3	943,7	4,614	0,640	16,5	124,6	0,148	14,8	331,6	0,898
230	27,98	827,3	990,2	4,681	0,629	16,3	119,7	0,145	15,9	310,0	0,888
240	33,48	813,6	1037,5	4,76	0,617	16,0	114,8	0,141	16,8	285,5	0,883
250	39,78	799,0	1085,7	4,87	0,605	15,5	109,0	0,137	18,1	261,9	0,884
260	46,94	784,0	1135,7	4,98	0,593	15,2	105,9	0,135	19,7	237,4	0,892
270	55,05	767,9	1185,3	5,12	0,578	14,7	102,0	0,113	21,6	214,8	0,905
280	64,19	750,7	1236,8	5,30	0,565	14,3	98,1	0,131	23,7	191,3	0,917
290	74,45	732,3	1290,0	5,50	0,548	13,7	94,2	0,129	26,2	168,7	0,944
300	85,92	712,5	1344,9	5,76	0,532	13,0	91,2	0,128	29,2	144,2	0,986
310	98,70	691,1	1402,2	6,11	0,514	12,2	88,3	0,128	32,9	120,7	1,05
320	112,90	667,1	1462,1	6,57	0,494	11,3	85,3	0,128	38,2	98,10	1,14
330	128,65	640,2	1526,2	7,25	0,471	10,2	81,4	0,127	43,3	76,71	1,25
340	146,08	610,1	1594,8	8,20	0,446	8,95	77,5	0,127	53,4	56,70	1,42
350	165,37	574,4	1671,4	10,10	0,431	7,90	72,6	0,126	66,8	38,16	1,70
360	186,74	528,0	1761,5	14,65	0,367	4,2	66,7	0,126	109	20,21	2,66
370	210,53	450,5	1892,5	40,32	0,338	1,85	56,9	0,126	264	4,709	6,80

Приложение 2.

Таблица 1. Характеристики предохранительных клапанов

Обозначение	DN, мм	PN, МПа	Pp, МПа
875-125-0	125	-	25
1202-150/150-0	150	-	9,8
1203-150/200-0A	150	-	9,8
392-175/95-0г	150	-	13,7
392-175/95-0г-01	150	-	9,8
530-150/150-0в	150	-	9,8
7с-6-1	150	4	-
7с-8-1	150	-	4,5
1029-200/250-0	200	-	25
7с-6-2	200	4	-
7с-8-2	200	-	4,5
111-250/400-0б	250	-	0,8-1,2
111-250/400-0б-01	250	-	1,3-4,3
694-250/400-0б	250	-	4
7с-6-3	250	2,5	-
7с-8-3	250	-	4,5
7с-4-4	300	1	-

Обозначение	DN, мм	PN, МПа	Pp, МПа
788-400/600-0-01	400	0,25	-
788-400/600-0-02	400	0,35	-
788-400/600-0-03	400	0,45	-

Обозначение	DN, мм	PN, МПа	Pp, МПа
15с-1-1	25	1	-
15с-2-2	32	1,6	-
17с-1-2	32	1	-
17с-1-3	40	1	-
17с-2-3	40	1	-
T-131MC	50	10	-
T-31MC-1	50	6,3	-
T-31MC-2	50	6,3	-
T-31MC-3	50	6,3	-
T-132MC	80	10	-
T-32MC-1	80	6,3	-
T-32MC-2	80	6,3	-
T-32MC-3	80	6,3	-

Обозначение	DN, мм	PN, МПа	Pp, МПа
586-20-ЭМ-01	20	-	25
586-20-ЭМ-02	20	-	13,7
586-20-ЭМ-03	20	-	9,8
586-20-ЭМФ-03	20	-	3,9
586-20-ЭМФ-04	20	-	4
8с-3-1	20	4	-
8с-3-1-1	20	4	-
8с-3-2	20	4	-
8с-3-3	20	4	-
8с-3-4	20	4	-
8с-4-1	20	-	4,5
112-25x1-0	25	-	1,2
112-25x1-0-01	25	-	3
112-25x1-0-02	25	-	4,3
112-25x1-0M	25	-	4