МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ВОСТОЧНОУКРАИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
(г. СЕВЕРОДОНЕЦК)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практической подготовке
по дисциплине
«ИЗГОТОВЛЕНИЕ И БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕХНАДЗОРА»
Для студентов специальности 7.090220 „Оборудование химических производств и предприятий строительных материалов"
Электронное издание

УТВЕРЖДЕНО
на заседании кафедры оборудования химических предприятий,
протокол №11 от 24.06 2009 г.

СЕВЕРОДОНЕЦК 2009

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Изготовление и безопасная эксплуатация объектов технадзора» для студентов специальности 7.090220 „Оборудование химических производств и предприятий строительных материалов" Электронное издание /Сост. Ю.Н. Штонда, А.И. Барвин, В.Г. Табунщиков, - Северодонецк, СТИ, 2009. - 22 с.

Составители: Ю.Н. Штонда
А.И. Барвин - доцент, канд. техн. наук
В.Г. Табунщиков

Ответственный за выпуск А.И. Барвин

С О Д Е Р Ж А Н И Е

1. Защита аппаратов от повышения давления 4
1.1. Расчет пропускной способности предохранительных устройств . 8
2. Примеры расчета пропускной способности предохранительных устройств 16
Список литературы 21

1. ЗАЩИТА АППАРАТОВ ОТ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Технологическое оборудование, в котором возможно аварийное повышение давления выше допустимого значения, представляет серьезную опасность при эксплуатации из-за разрушения под действием внутреннего давления. Поэтому во всех случаях, когда в сосуде или аппарате может быть повышено предельно допустимое давление, определяемое его прочностью, он должен быть надежно защищен от разрушения с помощью предохранительных устройств, работающих по принципу сброса из сосуда или аппарата излишнего количества среды.

В качестве предохранительных устройств применяются:

– пружинные предохранительные клапаны;

– рычажно-грузовые предохранительные клапаны;

– импульсные предохранительные устройства, состоящие из главного предохранительного клапана и управляющего импульсного клапана прямого действия;

– предохранительные устройства с разрушающимися мембранами;

– другие устройства, применение которых согласовано с Госнадзорохрантруда Украины.

Количество предохранительных клапанов и их пропускная способность должны быть выбраны по расчету в соответствии с ГОСТ 12.2.085-82.

Источниками аварийного роста давления в аппаратах могут являться внезапные, не предусмотренные рабочим процессом случаи:

– приток в аппарат газа, пара или жидкости при закрытом выходе из него;

– обогрев или нарушение охлаждения аппарата, в результате чего происходит нагрев газа или пара, испарение жидкости в нем или интенсификация химической реакции;

– взрыв среды в аппарате.

Причинами аварийного превышения давления могут являться:

– ошибка обслуживающего персонала;

– отказ запорно-регулирующей арматуры;

– нарушение функционирования системы автоматического управления;

– внезапное разрушение внутренних устройств аппарата (труб, змеевиков, рубашек и т.д.);

– замерзание охлаждающей воды;

– выход из под контроля химических реакций;

– интенсивный нагрев поверхности аппарата от внешнего источника, например в результате пожара, солнечной радиации и т.п.

Для выбора предохранительного устройства необходимо знать величину аварийного притока среды и характер его изменения в зависимости от источника повышения давления. Наиболее опасной аварийной ситуацией является та, при которой в аппарат поступает наибольшее количество среды или давление растет с максимальной скоростью. Выбор предохранительных устройств следует выполнять именно на такие экстремальные условия. Под аварийным расходом m_a понимают массовый расход среды через предохранительное устройство при давлении, превышающем рабочее давление в аппарате на величину, определяемую Правилами Госнадзорохрантруда Украины.

Для сосудов и аппаратов, работающих под избыточным давлением свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см^2) предохранительные устройства следует выбирать так, чтобы в сосуде не создавалось давление, превышающее избыточное рабочее давление более чем на 0,05 МПа (0,5 кгс/см^2) при избыточном рабочем давлении в сосуде до 0,3 МПа (3 кгс/см^2) включительно, на 15% - при избыточном рабочем давлении в сосуде до 6,0 МПа (60 кгс/см^2) включительно и на 10 % - при избыточном рабочем давлении в сосуде свыше 6,0 МПа (60 кгс/см^2).

Давление настройки предохранительных клапанов должно быть равно рабочему давлению в сосуде или превышать его, но не более чем на 25 %. При этом, увеличение превышения давлений над рабочим должно учитываться при расчете сосуда на прочность по ГОСТ 14249-89.

Аварийный расход среды в различных случаях определяют следующим образом.

При постоянной подаче рабочей среды в аппарат поршневыми компрессором и насосом в случае перекрытия выхода среды из аппарата аварийный расход равен массовой подаче компрессора $m_к$ или насоса $m_н$:

$$m_a = m_к; \quad m_a = m_н. \tag{1}$$

При внезапном разрушении элементов внутренних устройств с выходом среды из них в корпус аппарата, имеющего давление ниже, чем в разрушенных элементах, аварийный расход определяют как максимально возможный расход среды через максимально возможную площадь сечения разрушенного элемента (элементов). Он зависит от площади сечения разрушения F_a, давления P_{1a} и температуры t_{1a} в разрушенном элементе, рабочего давления в корпусе аппарата P_{2a}, физико-химических свойств среды в разрушенном элементе (показателя адиабаты k, удельной газовой постоянной R_a, молярной массы M) и коэффициента расхода через отверстие разрушения α_a.

При отказе запорной арматуры и перетекании среды из полости более высокого давления в полость более низкого давления аварийный расход определяют аналогично предыдущему случаю, но при площади сечения и коэффициенте расхода полностью открытой арматуры. Расчетные формулы для определения аварийного расхода в этом случае те же, что и при определении пропускной способности предохранительного устройства.

При пожаре вблизи аппарата, заполненного жидкостью и имеющего закрытый выход, аварийный расход определяют по формуле

$$m_a = K \cdot F_{an} \cdot (t_г - t_{ж}) / r, \qquad (2)$$

где F_{an} – площадь наружной поверхности аппарата, м^2;

$t_г$ – температура газовоздушной смеси, омывающей при пожаре наружную поверхность аппарата, при расчетах принимают $t_г$ =600...700 °С;

$t_{ж}$ – температура кипения жидкости при давлении внутри аппарата, °С;

r – теплота испарения жидкости при температуре $t_{ж}$, Дж/кг;

K – общий коэффициент теплопередачи от окружающей газовоздушной смеси через стенку аппарата к содержащейся в нем жидкости, Вт/(м^2·К).

Для неизолированных неохлаждаемых аппаратов принимают K =25 Вт/(м^2·К); для изолированных и охлаждаемых аппаратов K определяют в зависимости от степени охлаждения, толщины и коэффициента теплопроводности изоляции.

Для аппаратов, имеющих специальное водное оросительное устройство, в числителе формулы (2) вводят понижающий коэффициент 0,5.

В аппаратах, где химические реакции протекают с выделением тепла, при недостаточном его отводе вследствие нарушения системы охлаждения, а также при непредусмотренном технологическим процессом обогреве избыточное давление для системы определенного объема зависит от интенсивности тепловыделения и теплового обогрева, а аварийный расход, т.е. количество рабочей среды, подлежащее сбросу в аварийном режиме, может быть различным в каждом конкретном случае. Для определения величины аварийного притока среды в случае выхода из под контроля химических реакций или прорыва легкокипящих жидкостей необходимо знать динамику развития процессов. Во многих случаях наиболее опасной аварийной ситуацией является взрыв технологической среды внутри аппарата.

Основной характеристикой динамики развития взрыва является скорость роста давления $dP/d\tau$,которая зависит от физико-химических

свойств взрывоопасной среды, степени турбулизации ее в аппарате, объема и формы аппарата и других факторов.

Аварийный расход в этом случае связан с соответствующей ему скоростью нарастания давления уравнением состояния

$$m_a = \frac{M \cdot V}{R_y \cdot T_m} \cdot \frac{dP}{d\tau}, \qquad (3)$$

где M – молярная масса технологической среды в аппарате, кг/кмоль;

V – емкость аппарата, м^3;

R_y – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

T_m – средняя абсолютная температура истекающих продуктов взрыва, К;

$dP/d\tau$ – скорость роста давления при взрыве, Па/с.

Максимальную скорость роста давления в аппарате определяют по формуле

$$\frac{dP}{d\tau} = K_m \cdot \left(\frac{dP}{d\tau}\right)_0 \cdot \frac{P_p + 0.1}{0.1} \cdot \sqrt[3]{\frac{V_0}{V}}, \qquad (4)$$

где K_m – коэффициент турбулизации фронта пламени, принимаемый по [1];

$(dP/d\tau)_0$ – максимальная скорость роста давления в экспериментальной бомбе емкостью V_0 =0,01 м^3 при взрыве смеси технологической среды с воздухом, имеющей оптимальную концентрацию и содержащейся без начального избыточного давления при температуре 300 К (значения $(dP/d\tau)_0$ для некоторых сред приведены в [1];

P_p – рабочее давление технологической среды в аппарате до возникновения взрыва, МПа.

При отсутствии данных о скорости роста давления при взрыве величину $dP/d\tau$ определяют по формуле

$$\frac{dP}{d\tau} = K_m \cdot F_{пл} \frac{(P_p + 0.1) \cdot 10^6 \cdot u_{пл} \cdot (\varepsilon - 1)}{V} \left(\frac{P_1 + 0.1}{P_p + 0.1}\right)^{1/k}, \qquad (5)$$

где $F_{пл}$ – максимально возможная площадь поверхности фронта пламени при сгорании смеси технологической среды с воздухом в аппарате, м^2;

$u_{пл}$ – нормальная скорость распространения пламени в горючей среде, содержащейся в аппарате, м/с, определяемая по [1];

ε – степень относительного увеличения давления данной горючей среды в закрытой бомбе, определяемая по [1];

P_1 – избыточное давление технологической среды в аппарате при условиях срабатывания предохранительного устройства, МПа;

k – показатель изоэнтропы (адиабаты) горючей смеси, принимаемый равным показателю изоэнтропы среды при нормальных условиях без учета влияния температуры при взрыве.

Величину $F_{пл}$ определяют геометрическим путем из условия, что пламя распространяется сферически из точки инициирования взрыва. Наиболее опасной точкой инициирования взрыва в аппарате является геометрический центр его внутренней полости. В частности, для аппаратов цилиндрической формы диаметром D и высотой H :

$$F_{пл} = \pi \cdot D^2 \quad \text{при} \quad D \le H;$$

$$F_{пл} = \pi \cdot D \cdot H \quad \text{при} \quad D > H.$$

Для сферических аппаратов с диаметром D площадь поверхности фронта пламени $F_{пл} = \pi \cdot D^2$.

1.1. Расчет пропускной способности предохранительных устройств

Пропускную способность предохранительного клапана в кг/ч следует рассчитывать по формулам:

для водяного пара

$$G = 10 \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot \alpha_1 \cdot F \cdot (P_1 + 0{,}1); \tag{6}$$

для газа

$$G = 3{,}16 \cdot B_3 \cdot \alpha_1 \cdot F \cdot \sqrt{(P_1 + 0.1) \cdot \rho_1}; \tag{7}$$

для жидкостей

$$G = 5{,}03 \cdot \alpha_2 \cdot F \cdot \sqrt{(P_1 - P_2) \cdot \rho_2}, \tag{8}$$

где B_1 – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства водяного пара при рабочих параметрах перед предохранительным устройством;

B_2 – коэффициент, учитывающий соотношения давлений перед и за

предохранительным клапаном;

B_3 – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов при рабочих параметрах;

α_1 – коэффициент расхода, соответствующий площади F, для газообразных сред;

α_2 – коэффициент расхода, соответствующий площади F, для жидких сред;

F – площадь сечения клапана равная наименьшей площади сечения проточной части мм^2;

P_1 – максимальное избыточное давление перед предохранительным клапаном, МПа;

P_2 – максимальное избыточное давление за предохранительным клапаном, МПа;

ρ_1 – плотность реального газа перед предохранительным клапаном при параметрах P_1 и T_1, кг/м^3;

ρ_2 – плотность жидкости перед предохранительным клапаном при параметрах P_1 и T_1, кг/м^3.

Коэффициент, B_1, учитывающий физико-химические свойства водяного пара при рабочих параметрах перед предохранительным устройством выбирают по таблице 1 для насыщенного пара и по таблице 2-для перегретого пара или подсчитывают по формуле

$$B_1 = 0{,}503 \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{(P_1 + 0{,}1) \cdot V_1}}, \qquad (9)$$

где V_1 – удельный объем пара перед предохранительным клапаном при параметрах P_1 и T_1, м^3/кг.

Коэффициент, B_2, учитывающий соотношения давлений перед и за предохранительным клапаном, выбирают по таблице 3 в зависимости от k и β; коэффициент $B_2 = 1$ при $\beta \le \beta_{кр}$, где β – отношение абсолютного давления за предохранительным клапаном к абсолютному давлению перед ним; $\beta_{кр}$ – критическое отношение давлений.

Значение β вычисляется по формуле

$$\beta = \frac{P_2 + 0{,}1}{P_1 + 0{,}1}. \qquad (10)$$

Таблица 1

Значения коэффициента B_1 для насыщенного водяного пара при k=1,135

$P_1 + 0{,}1, МПа$	B_1	$P_1 + 0{,}1, МПа$	B_1
0,2	0,530	11,0	0,535
0,6	0,515	12,0	0,540
1,0	0,510	13,0	0,550
1,5	0,505	14,0	0,560
2,0	0,500	15,0	0,570
3,0	0,500	16,0	0,580
4,0	0,505	17,0	0,590
6,0	0,510	18,0	0,605
8,0	0,520	19,0	0,625
10,0	0,530	20,0	0,645

Таблица 2

Значение коэффициента B_1 для перегретого водяного пара при k=1,31

$P_1 + 0{,}1, МПа$	Значение B1 при температуре пара T_1, °C							
	250	300	350	400	450	500	550	600
0,2	0,480	0,455	0,440	0,420	0,405	0,390	0,380	0,365
1,0	0,490	0,460	0,440	0,420	0,405	0,390	0,380	0,365
2,0	0,495	0,465	0,445	0,425	0,410	0,390	0,380	0,365
3,0	0,505	0,475	0,450	0,425	0,410	0,395	0,380	0,365
4,0	5,520	0,485	0,455	0,430	0,410	0,400	0,380	0,365
6,0)	–	0,500	0,460	0,435	0,415	0,400	0,385	0,370
8,0	–	0,570	0,475	0,445	0,420	0,400	0,385	0,370
16,0	–	–	0,490	0,450	0,425	0,405	0,390	0,375
18,0	–	–	–	0,480	0,440	0,415	0,400	0,380
20,0	–	–	–	0,525	0,460	0,430	0,405	0,385
25,0	–	–	–	–	0,490	0,445	0,415	0,390
30,0	–	–	–	–	0,520	0,460	0,425	0,400
35,0	–	–	–	–	0,560	0,475	0,435	0,405
40,0	–	–	–	–	0,610	0,495	0,445	0,415

Таблица 3

Значение коэффициента B_2

β	Значение B_2 при k, равном			
	1,100	1,135	1,310	1,400
0,500	–	1,100 при $\beta \le \beta_{кр}$	–	–
0,528				
0,545				0,990
0,577			0,990	0,990
0,586		0,980	0,990	0,990
0,600	0,990	0,957	0,975	0,990
0,700	0,965	0,955	0,945	0,930
0,800	0,855	0,850	0,830	0,820
0,900	0,655	0,650	0,628	0,620

Таблица 4

Значения коэффициента B_3

$\frac{P_2+0,1}{P_1+0,1}$	Значение B_3 при k, равном							
	1,135	1,20	1,30	1,40	1,66	2,0	2,5	3,0
0,100	0,715	0,730	0,755	0,770	0,820	0,865	0,930	0,960
0,200								
0,300								
0,354								
0,393								0,959
0,400							0,929	0,957
0,445							0,928	0,950
0,450						0,864	0,925	0,942
0,488						0,863	0,920	0,935
0,500					0,819	0,860	0,919	0,933
0,528					0,819	0,853	0,912	0,925
0,546				0,769	0,816	0,850	0,902	0,915
0,550			0,754	0,768	0,818	0,845	0,900	0,914
0,564			0,753	0,765	0,815	0,842	0,899	0,911
0,577		0,729	0,752	0,764	0,810	0,840	0,898	0,900
0,600	0,714	0,725	0,750	0,762	0,805	0,835	0,877	0,880
0,650	0,701	0,712	0,732	0,748	0,773	0,800	0,848	0,850
0,700	0,685	0,693	0,713	0,720	0,745	0,775	0,810	0,815
0,750	0,650	0,655	0,674	0,678	0,696	0,718	0,716	0,765
0,800	0,610	0,613	0,625	0,630	0,655	0,670	0,700	0,705
0,850	0,548	0,550	0,558	0,560	0,572	0,598	0,615	0,620
0,900	0,465	0,468	0,474	0,475	0,482	0,502	0,520	0,525
1,000	0	0	0	0	0	0	0	0

Критическое отношение давлений, $\beta_{кр}$, выбирают по таблице 5 или подсчитывают по формуле

$$\beta_{кр} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \qquad (11)$$

Значение показателя адиабаты k приведены в таблице 4.

Коэффициент, B_3, учитывающий физико-химические свойства газов при рабочих параметрах выбирают по таблице 5 или подсчитывают по формулам:

$$B_3 = 1{,}59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1}} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \quad \text{при} \quad \beta \le \beta_{кр}, \qquad (12)$$

$$B_3 = 1{,}59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_2+0{,}1}{P_1+0{,}1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2+0{,}1}{P_1+0{,}1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad \text{при} \quad \beta > \beta_{кр}. \qquad (13)$$

Плотность реального газа перед предохранительным клапаном, ρ_1, при параметрах P_1 и T_1, кг/м^3, определяют по таблицам или диаграммам состояния реального газа или рассчитывают по формуле

$$\rho_1 = \frac{(P_1+0{,}1)\cdot 10^6}{B_4 \cdot R \cdot T_1} \qquad (14)$$

где B_4 – коэффициент сжимаемости реального газа выбирают по таблице 5; для идеального газа B_4 =1;

R – газовая постоянная выбирается по справочному таблице 5, Дж/(кг·К);

T_1 – температура среды перед клапаном при давлении P_1, градусы К.

Для газов, не приведенных в таблице 6, приближенное значение коэффициента сжимаемости определяется по рисунку 1 по приведенным параметрам π_1 и τ_1:

$$\pi_1 = \frac{P_1+0{,}1}{P_{кр.т}};$$

$$\tau_1 = \frac{T_1}{T_{кр.т}},$$

где	$P_{кр.т}$ – критическое давление, МПа, выбирают по таблице 5;	
	T_1 –	температура среды перед клапаном при давлении P_1, градусы К;
	$T_{кр.т}$ – критическая температура, градусы К, выбирают по таблице 5.	

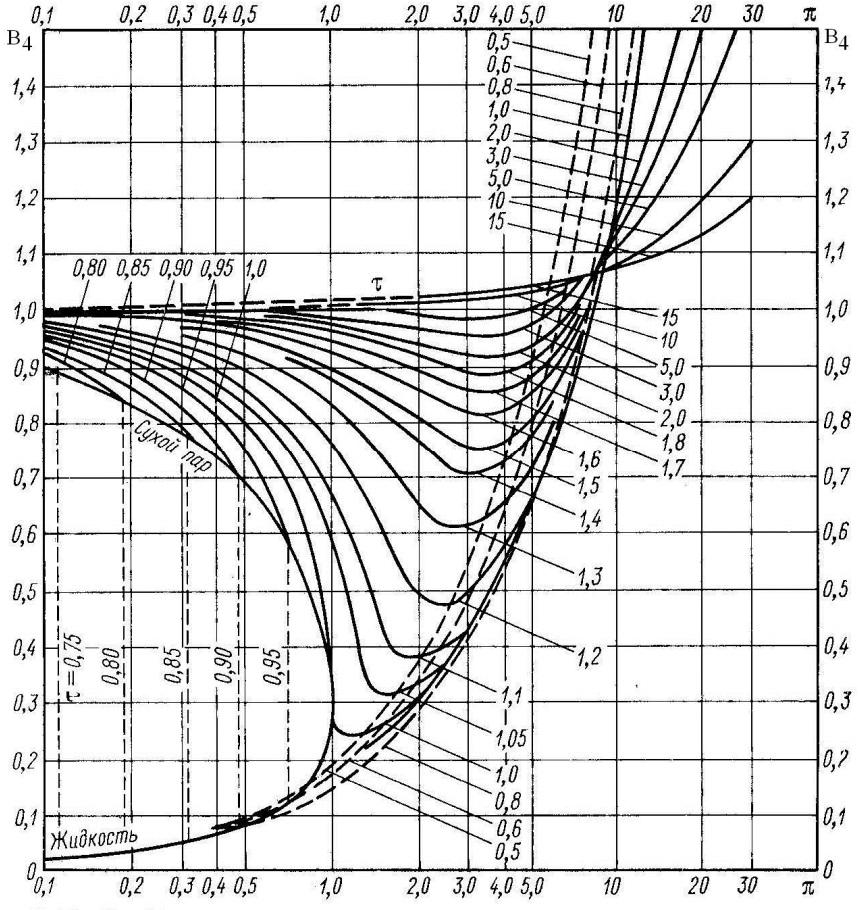

Рис. 1. Коэффициент сжимаемости B_4 в зависимости от приведенных параметров π и τ

Таблица 5

Основные физические свойства некоторых газов

Газ	Формула	Плотность	Показатель адиабаты k	Коэффициент B_3 *при* $\beta \le \beta_{кр}$	Критическое отношение давлений $\beta_{кр}$	Газовая постоянная *Дж/кг·град*	Параметры критической точки	
							$P_{кр.т}$, МПа	$T_{кр.т}$, К
Азот	N_2	1,25	1,40	0,770	0,528	298	3,35	126,0
Аммиак	NH_3	0,77	1,32	0,757	0,543	490	11,3	405,4
Аргон	A_r	1,78	1,67	0,825	0,488	207	4,8	150,6
Ацетилен	C_2H_2	1,171	1,23	0,745	0,559	320	6,24	308,5
Бутан	C_4H_{10}	2,673	1,10	0,710	0,586	143	3,89	425,0
Водород	H_2	0,0899	1,41	0,772	0,527	4120	1,28	32,8
Воздух	–	1,293	1,40	0,770	0,528	287	3,77	132,5
Гелий	H_e	0,179	1,66	0,820	0,488	2080	0,23	5,04
Дифторди-хлорметан	CF_2Cl_2	5.398	1,14	0,720	0,576	68,6	3,96	384,7
Кислород	O_2	1,429	1,40	0,770	0,528	260	5,01	154
Метан	CH_4	0,72	1,30	0,755	0,547	515	4,64	190,5
Хлористый метил	CH_3Cl	2,3	1,20	0,730	0,564	165	6,6	421,3
Окись углерода	CO	1,25	1,40	0,770	0,528	298	3,45	133
Пропан	C_3H_8	2,02	1,14	0,720	0,576	189	4,27	369,8
Сероводород	H_2S	1,54	1,30	0,755	0,547	244	9,00	373,4
Сернистый ангидрит	SO_2	2,93	1,40	0,770	0,528	130	7,78	430,8
Углекислый газ	CO_2	1,98	1,31	0,756	0,545	189	7,53	304,4
Хлор	Cl_2	3,22	1,34	0,762	0,540	118	7,61	417,0
Этан	C_2H_6	1,36	1,22	0,744	0,560	277	4,86	305,3
Этилен	C_2H_4	1,26	1,24	0,750	0,557	296	5,03	282,9

Таблица 6

Значение коэффициента сжимаемости газов B_4

$P_1 + 0{,}1, МПа$	Температура T_1, °С			
	0	50	100	200
азота и воздуха				
0	1,00	1,00	1,00	1,00
10,0	0,98	1,02	1,04	1,05
20,0	1,03	1,08	1,09	1,10
30,0	1,13	1,16	1,17	1,18
40,0	1,27	1,26	1,25	1,24
100,0	2,05	1,94	1,80	1,65
для водорода				
0	1,00	1,00	1,00	1,00
100,0	1,71	1,60	1,52	1,43
для кислорода				
0	1,00	1,00	1,00	1,00
10,0	0,92	0,97	1,00	-
20,0	0,91	-	1,02	1,06
30,0	0,97	-	1,07	1,10
40,0	1,07	-	1,12	1,14
50,0	1,17	-	1,20	1,19
80,0	1,53	-	1,44	1,37
100,0	1,77	-	1,59	-
для метана				
0	1,00	1,00	1,00	1,00
10,0	0,78	0,90	0,96	1,00
15,0	0,73	0,88	0,95	1,01
20,0	0,77	0,89	0,96	1,02
30,0	0,90	0,96	1,01	1,08
50,0	1,20	1,20	1,20	1,20
100,0	2,03	1,87	1,74	1,62
для окиси углерода				
0	1,00	1,00	1,00	1,00
10,0	0,97	1,01	1,03	1,05
20,0	1,02	1,06	1,08	1,11
30,0	1,12	1,16	1,17	1,18
40,0	1,26	1,25	1,24	1,23
100,0	2,10	1,94	1,83	1,70

Продолжение таблицы 6

$P_1 + 0{,}1, МПа$	Температура T_1, °С			
	0	50	100	200
для двуокиси углерода				
1	1,00	1,00	1,00	1,00
5,0	0,10	0,60	0,80	0,93
10,0	0,20	0,40	0,75	0,87
20,0	0,39	0,43	0,60	0,87
30,0	0,57	0,57	0,66	0,88
60,0	1,07	1,02	1,01	1,07
100,0	1,70	1,54	1,48	1,41
для этилена				
0	1,00	1,00	1,00	1,00
5,0	0,20	0,74	0,87	0,96
7,0	0,23	0,60	0,81	0,94
10,0	0,32	0,47	0,73	0,92
15,0	0,45	0,51	0,68	0,90
20,0	0,58	0,60	0,70	0,89
30,0	0,81	0,81	0,82	0,95
100,0	2,35	2,18	1,96	1,77

Таблица 7

Значение коэффициента расхода

Тип устройства	α_1 (для газообразных сред)	α_2 (для жидких сред)
Предохранительные клапаны прямого действия:		
Малоподъемные	0,05	0,05
Среднеподъемные	0,3	0,1
Полноподъемные	0,6	0,1
Предохранительные мембраны		
Разрывные	0,8	0,8
С ножевым устройством	0,6	0,6

2. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Пример 1

Поршневой компрессор подает воздух в количестве V=100 м^3/мин (при нормальных условиях). Избыточное давление в ресивере 0,8 МПа. Температура воздуха 50 °С.

Максимальный приток воздуха в ресивер может появиться при прекращении его потребления или при ошибочном перекрытии запорного вентиля на выходе из ресивера.

В этом случае аварийный расход равен массовой подаче компрессора

$$G_a = G_k = V \cdot \rho = 100 \cdot 60 \cdot 1{,}293 = 7758\ кг/ч,$$

где V – *объемный расход газа (жидкости), м^3/ч;*

ρ – *плотность газа (жидкости), кг/м^3.*

Плотность воздуха при нормальных условиях 1,293 кг/м^3 , молекулярная масса М=29 кг/кмоль.

Максимально допустимое давление в ресивере

$$P_1 = 1{,}15 \cdot P_p = 1{,}15 \cdot 0{,}8 = 0{,}92\ МПа$$

Площадь сечения проточной части предохранительного клапана F , *мм^2, при аварийном расходе газа вычислим из формулы* (*7*)

$$F = \frac{G_a}{3{,}16 \cdot B_3 \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{(P_1 + 0{,}1) \cdot \rho_1}},$$

где G_a – *пропускная способность предохранительного клапана для газа, кг/ч;*

B_3 – *коэффициент учитывающий физико-химические свойства газов при рабочих параметрах*;

α_1 – *коэффициент расхода, соответствующий площади* F , *для газообразных сред;*

P_1 – *максимальное избыточное давление перед предохранительным клапаном, МПа;*

ρ_1 – *плотность реального газа перед предохранительным клапаном при параметрах* P_1 *и* T_1 , *кг/м^3;*

Отношение абсолютного давления за предохранительным клапаном к абсолютному давлению перед ним вычисляется по формуле

$$\beta = \frac{P_2 + 0{,}1}{P_1 + 0{,}1} = \frac{0 + 0{,}1}{0{,}92 + 0{,}1} = 0{,}098,$$

где $P_2 = 0$ *– максимальное избыточное давление за предохранительным клапаном, МПа.*

По таблице 5 критическое отношение давлений $\beta_{кр} = 0{,}528$. *Так как* $\beta = 0{,}098 < \beta_{кр} = 0{,}528$, *то значение коэффициента* B_3 *находим по таблице 5 или вычисляем по формуле*

$$B_3 = 1{,}59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1}} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} = 1{,}59 \cdot \sqrt{\frac{1{,}4}{1{,}4+1}} \cdot \left(\frac{2}{1{,}4+1}\right)^{\frac{1}{1{,}4-1}} = 0{,}77,$$

где $k = 1{,}4$ *– показатель адиабаты;*

Коэффициент сжимаемости реального газа для $P_1 = 0{,}92$ *МПа и температуры* $T_1 = 50$ *°С методом линейной интерполяции находим по таблице 6.*

Для воздуха при абсолютном давлении равном 0 и температуре 50 °С коэффициент сжимаемости $B_4 = 1{,}00$, *а при давлении 10 МПа* $B_4 = 1{,}02$. *Тогда при давлении* $P_1 + 0{,}1 = 0{,}92 + 0{,}1 = 1{,}02$ *МПа значение коэффициента* B_4 *будет равно*

$$B_4 = 1 + \frac{1{,}02 - 1{,}00}{10{,}0 - 0} \cdot (1{,}02 - 0) = 1{,}00204$$

Плотность воздуха перед предохранительным клапаном

$$\rho_1 = \frac{(P_1 + 0{,}1) \cdot 10^6}{B_4 \cdot R \cdot T_1} = \frac{(0{,}92 + 0{,}1) \cdot 10^6}{1{,}00204 \cdot 287 \cdot (273{,}3 + 50)} = 10{,}97 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент расхода для предохранительных полноподъемных клапанов прямого действия для газообразных сред равен $\alpha_1 = 0{,}6$ (*таблица 7*).

Площадь узкого сечения клапана при аварийном расходе газа будет равна

$$F = \frac{G_a}{3{,}16 \cdot B_3 \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{(P_1 + 0{,}1) \cdot \rho_1}} = \frac{7758}{3{,}16 \cdot 0{,}77 \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{(0{,}92 + 0{,}1) \cdot 10{,}97}} =$$

$$= 1603 \text{ мм}^2$$

Диаметр узкого сечения седла

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1603}{3{,}14}} = 45{,}178 \text{ мм}$$

По каталогу выбираем пружинный полноподъемный клапан фланцевый СППК 4Р-16 (17с17нж) для неагрессивных сред с температурой до 450 ˚С Ду=100 мм с диаметром проходного сечения $d_c = 50$ *мм, для которого площадь равна*

$$F = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 50^2}{4} = 1963{,}5 \text{ мм}^2 .$$

Пример 2

Поршневой компрессор подает бутан в количестве V=160 м^3*/мин* (*при нормальных условиях*). *Избыточное давление в ресивере 1,5 МПа. Температура бутана 85 °С.*

Максимальный приток бутана в ресивер может появиться при прекращении его потребления или при ошибочном перекрытии запорного вентиля на выходе из ресивера.

В этом случае аварийный расход равен массовой подаче компрессора

$$G_a = G_k = V \cdot \rho = 160 \cdot 60 \cdot 2{,}673 = 25660{,}8 \text{ кг/ч},$$

где V – *объемный расход газа (жидкости), м*^{3}*/ч*;

ρ – *плотность газа (жидкости), кг/м*^{3}.

Плотность бутана при нормальных условиях 2,673 кг/м^3 , *молекулярная масса М=58,1 кг/кмоль.*

Максимально допустимое давление в ресивере

$$P_1 = 1{,}15 \cdot P_p = 1{,}15 \cdot 1{,}5 = 1{,}725 \text{ МПа}$$

Площадь сечения проточной части предохранительного клапана F , *мм*^{2}, *при аварийном расходе газа вычислим из формулы* (*7*)

$$F = \frac{G_a}{3{,}16 \cdot B_3 \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{(P_1 + 0{,}1) \cdot \rho_1}},$$

где G_a – *пропускная способность предохранительного клапана для газа, кг/ч;*

B_3 – *коэффициент учитывающий физико-химические свойства газов при рабочих параметрах*;

α_1 – *коэффициент расхода, соответствующий площади* F *, для газообразных сред;*

P_1 – *максимальное избыточное давление перед предохранительным клапаном, МПа;*

ρ_1 – *плотность реального газа перед предохранительным клапаном при параметрах* P_1 *и* T_1 *, кг/м*^{3}*;*

Отношение абсолютного давления за предохранительным клапаном к абсолютному давлению перед ним вычисляется по формуле

$$\beta = \frac{P_2 + 0{,}1}{P_1 + 0{,}1} = \frac{0 + 0{,}1}{1{,}725 + 0{,}1} = 0{,}0548,$$

где $P_2 = 0$ *– максимальное избыточное давление за предохранительным клапаном, МПа.*

По таблице 5 критическое отношение давлений $\beta_{кр} = 0{,}586$ *. Так как* $\beta = 0{,}0548 < \beta_{кр} = 0{,}586$*, то значение коэффициента* B_3 *находим по приложению 5 или вычисляем по формуле*

$$B_3 = 1{,}59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1}} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} = 1{,}59 \cdot \sqrt{\frac{1{,}1}{1{,}1+1}} \cdot \left(\frac{2}{1{,}1+1}\right)^{\frac{1}{1{,}1-1}} = 0{,}7,$$

где $k = 1{,}1$ *– показатель адиабаты.*

По таблице 6 находим параметры критической точки $P_{кр\,т} = 3{,}89$ *МПа ,* $T_{кр\,т} = 425$ *К .*

Приведенные параметры определяем по формулам:

$$\pi_1 = \frac{P_1 + 0{,}1}{P_{кр\,т}} = \frac{1{,}725 + 0{,}1}{3{,}89} = 0{,}469;$$

$$\tau_1 = \frac{T_1}{T_{кр\,т}} = \frac{85 + 273.3}{425} = 0{,}843$$

По рисунку 1 коэффициент сжимаемости бутана $B_4 = 0{,}7$ *.*

Плотность бутана перед предохранительным клапаном составит

$$\rho_1 = \frac{(P_1 + 0{,}1) \cdot 10^6}{B_4 \cdot R \cdot T_1} = \frac{(1{,}725 + 0{,}1) \cdot 10^6}{0{,}7 \cdot 143 \cdot (273{,}3 + 85)} = 50{,}88 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициент расхода для предохранительных полноподъемных кла-

панов прямого действия для газообразных сред равен $\alpha_1 = 0{,}6$ (*таблица 7*).

Площадь узкого сечения клапана будет равна

$$F = \frac{G_a}{3{,}16 \cdot B_3 \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{(P_1 + 0{,}1) \cdot \rho_1}} = \frac{25660{,}8}{3{,}16 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{(1{,}725 + 0{,}1) \cdot 50{,}88}} =$$

$$= 2006{,}5 \text{ мм}^2$$

Диаметр узкого сечения седла

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2006{,}5}{3{,}14}} = 50{,}55 \text{ мм}.$$

По каталогу принимаем два пружинных полноподъемных фланцевых клапана СППК 4Р-16 (*17с32ст*) *для агрессивных сред с температурой до 200 °С Ду=80 мм с диаметром проходного сечения* $d_c = 40$ *мм, для которого площадь равна*

$$F = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} = 2 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 40^2}{4} = 2513 \text{ мм}^2,$$

что превосходит расчетную площадь.

ЛИТЕРАТУРА

1 Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств / Г.Г.Смирнов, А.Р.Толчинский, Т.Ф.Кондратьева; Под общ. Ред. А.Р.Толчинского. –Л.: Машиностроение, 1988.–303 с.

2 ГОСТ 12.2.085–82. Сосуды работающие под давлением. Клапаны предохранительные. – М.: Издательство стандартов, 1985. –17 с.

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям
по дисциплине
«ИЗГОТОВЛЕНИЕ И БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ОБЪЕКТОВ ТЕХНАДЗОРА»
для студентов специальности 7.090220 „Оборудование химических производств и предприятий строительных материалов"
Электронное издание

Составители: Ю.Н. Штонда
А.И. Барвин - доцент, канд. техн. наук
В.В. Иванченко - доцент, канд. техн. наук
И.М. Генкина
В.Г. Табунщиков

Оригінал-макет Ю.Н. Штонда

Подписано к печати _____
Формат 60x841/16. Бумага типограф. Гарнитура Times.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,375 Уч. изд. л. _____
Тираж _____екз. Изд. №_____. Заказ. №_____. Цена договорная

Издательство Технологического института
СНУ имени Владимира Даля

Адрес издательства: 93400, г. Северодонецьк, Луганская обл.
пр. Советский, 59а, главный корпус
Телефон 8 (06452) 4 40 48 факс 8 (06452) 4-03-42
E-mail: sti@sti.lg.ua