

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Кафедра основ безопасности систем и процессов

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
Часть 1. Техника безопасности

Методические указания
для выполнения контрольных работ
студентами всех специальностей заочного факультета

Санкт-Петербург

2011

УДК 676.018.8(0707)

Безопасность жизнедеятельности. Часть 1. Техника безопасности: методические указания для выполнения контрольных работ студентами всех специальностей заочного факультета /сост.: Н.Н. Гаврилова, В.И. Якимов; СПб ГТУРП. – СПб., 2011. – 42 с.

Рассмотрены методы, средства и устройства защиты технологического оборудования от возникновения аварийных ситуаций и защиты человека от воздействия опасных факторов производственной среды.

Настоящие методические указания предназначены для выполнения контрольных работ студентами всех специальностей заочного факультета.

Рецензент: доцент кафедры промышленной экологии

Санкт-Петербургской Химико-фармацевтической академии
канд. хим. наук Л.В. Тагиева

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой основ безопасности систем и процессов СПб ГТУРП (протокол № 4 от 02.11.11).

Утверждены к изданию методической комиссией заочного факультета СПб ГТУРП (протокол № 8 от 09.11.11).

© ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных полимеров, 2011

ВВЕДЕНИЕ

В настоящих методических указаниях приведены 10 заданий для выполнения второй части контрольной работы на тему «Техника безопасности» по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» студентами заочного факультета.

Выбор задания и варианта исходных данных осуществляется по индивидуальному шифру (№ зачетной книжки) студента: предпоследняя цифра означает № задания, третья цифра с конца - № варианта исходных данных.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. РАСЧЕТ ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ

Задание 1

Определение температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей

Указания к решению и исходные данные

Температура вспышки и воспламенения может быть рассчитана по формуле:

$$T_{\text{в}} = \frac{A_1}{P_{\text{в}} \cdot D_0 \cdot \beta}, \quad (1)$$

где $T_{\text{в}}$ – значение искомой температуры в абсолютной шкале, К;

A_1 – постоянный коэффициент, равный 3000 при нахождении температуры вспышки и 4000 при нахождении температуры воспламенения;

D_0 – коэффициент диффузии паров горючего вещества в воздух при 273 К и давлении 760 мм рт.ст., см²/с;

β – стехиометрический коэффициент кислорода, равный числу молей кислорода, приходящихся на 1 моль горючего вещества при его полном сгорании;

P_v – парциальное давление паров горючей жидкости при значении искомой температуры (температуры вспышки или воспламенения), мм рт.ст.

Расчеты по формуле (1) ведут методом проб и ошибок, для чего:

- составляют уравнение химической реакции горения для 1 моля горючего вещества и находят стехиометрический коэффициент при кислороде β ;
- по известным значениям A_1 , D_0 и β вычисляют произведение $T_v \cdot P_v$;
- находят зависимость парциального давления паров жидкости от ее температуры, используя корреляцию Миллера:

$$\lg P = A - \frac{B}{T} + C_1 \cdot T + C_2 \cdot T^2, \quad (2)$$

где A , B , C_1 и C_2 – постоянные для данной жидкости коэффициенты, вычисляемые по следующим уравнениям:

$$A = 0,607K \cdot \left[\frac{4T_{кр}}{T_{кип}} - \left(\frac{T_{кип}}{T_{кр}} \right)^2 \right] - 1,448K \cdot \left[\frac{T_{кр}}{T_{кип}} - \frac{T_{кип}}{T_{кр}} \right] + 2,88081 ;$$

$$B = 0,980K \cdot T_{кр} ;$$

$$C_1 = \frac{-1,448K}{T_{кр}} ;$$

$$C_2 = \frac{0,607K}{T_{кр}^2} ;$$

$$K = \frac{\Delta H_{исп,T_1}}{0,019 \cdot T_{кр} \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T_{кр}} \right)^{0,38}} ,$$

где $T_{\text{кип}}$ – температура кипения жидкости, К;

$T_{\text{кр}}$ – критическая температура жидкости, К;

$\Delta H_{\text{исп}, T_1}$ - теплота испарения жидкости при какой-либо температуре, кДж/моль;

- методом последовательных приближений находят искомую температуру, для чего вычисляют при различных произвольно заданных температурах T_i величину P_i по уравнению (2), добиваясь выполнения условия: $T_i \cdot P_i \approx T_{\text{в}} \cdot P_{\text{в}}$.

Варианты расчетных задач следует выбирать в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

**Исходные данные для расчета температуры вспышки
и воспламенения горючих веществ**

№ варианта	Название горючей жидкости	Химическая формула вещества	Температура кипения, К	Критическая температура, К	Теплота испарения, кДж/моль	Коэффициент диффузии, см ² /с
1	Диметилсульфоксид	C ₂ H ₆ O	462	725	42,43 (T ₁ = 469 К)	0,0868
2	Метанол	CH ₄ O	338	513	37,90 (T ₁ = 273 К)	0,1290
3	Скипидар	C ₁₀ H ₁₆	435	567	38,30 (T ₁ = 435 К)	0,0510
4	Уксусная кислота	C ₂ H ₄ O ₂	391	595	44,80 (T ₁ =391К)	0,1070
5	Фурфурол	C ₅ H ₄ O ₂	435	760	43,20 (T ₁ = 435 К)	0,0910
6	Ацетон	C ₃ H ₆ O	329	509	29,10 (T ₁ = 329 К)	0,1090
7	Бензол	C ₆ H ₆	353	562	30,80 (T ₁ = 353 К)	0,0775
8	Сероуглерод	CS ₂	319	552	26,80 (T ₁ = 319 К)	0,0890
9	Толуол	C ₇ H ₈	384	592	33,20 (T ₁ = 384 К)	0,0753
0	Бензол 50% + Толуол 50%	C _{6,5} H ₇	368	577	32,00 (T ₁ = 368 К)	0,0764

Задание 2

Расчет нижнего концентрационного предела воспламенения горючих газов и паров и минимального взрывоопасного содержания кислорода

Указания к решению и исходные данные

Нижний концентрационный предел воспламенения горючих газов и паров в среде воздуха и чистого кислорода может быть определен расчетным путем по формуле:

$$\varphi_n = \frac{100}{1,0 + h_f \cdot \Delta H_f^0 + \sum_{i=1}^n h_i \cdot m_i}, \% \text{ об.}, \quad (3)$$

где ΔH_f^0 - стандартная теплота образования соединения в газообразном состоянии при 298 К, Дж/моль;

h_f - параметр теплоты образования, зависящий от вида окислительной среды: для воздуха $h_f = 0,0246$ Дж/моль, для кислорода $h_f = 0,2354$ Дж/моль;

m_i - число атомов i - го элемента в молекуле соединения;

h_i - параметры i - го элемента, влияющего на значение нижнего концентрационного предела воспламенения (значения принимаются по табл. 2).

Таблица 2

Параметры формулы (3)

Параметры атомов элементов h_i	В среде воздуха	В среде кислорода
Углерода h_C	9,134	8,748
Водорода h_H	2,612	2,502
Кислорода h_O	- 0, 522	- 0,500
Серы h_S	8,270	-

Минимальное взрывоопасное содержание кислорода в смеси может быть рассчитано по следующей формуле:

$$C_{\text{к,фл.}} = \frac{100 - \varphi_{\text{фл}}}{4,844}, \text{ \% об.},$$

где $\varphi_{\text{фл}}$ - минимальная флегматизирующая концентрация инертного компонента в смеси, % об.

$$\varphi_{\text{фл}} = \frac{100 \cdot \left(h_{\text{ф}}' + h_f' \cdot \Delta H_f^0 + \sum_{i=1}^n h_i' \cdot m_i \right)}{h_{\text{ф}}'' - 1,0 + \sum_{i=1}^n h_i'' \cdot m_i}, \text{ \% об.}, \quad (4)$$

где $h_{\text{ф}}'$, h_f' , h_i' , $h_{\text{ф}}''$ и h_i'' - постоянные для каждого флегматизатора параметры, значения которых приведены в табл. 3;

ΔH_f^0 - стандартная теплота образования соединения в газообразном состоянии при 298 К, кДж/моль;

m_i - число атомов i -го элемента в молекуле соединения.

Таблица 3

Параметры формулы (4)

Параметры, моль/Дж	Значения параметров при разбавлении		
	азотом	водяным паром	диоксидом углерода
<i>l</i>	2	3	4
$h_{\text{ф}}'$	1,256	0,780	0,579
h_f'	$8,662 \cdot 10^{-3}$	$8,026 \cdot 10^{-3}$	$7,366 \cdot 10^{-3}$
$h_{\text{ф}}''$	2,800	2,236	2,020
Атомы углерода:			
h_{C}'	2,528	1,651	1,251
h_{C}''	5,946	5,000	4,642
Атомы водорода:			
h_{H}'	0,759	0,527	0,418
h_{H}''	1,486	1,250	1,160
Атомы кислорода:			
h_{O}'	0,197	0,446	0,542
h_{O}''	- 2,973	- 2,500	- 2,321
Атомы серы:			
h_{S}'	7,026	13,009	3,116
h_{S}''	11,490	25,664	6,483

Варианты расчетных задач следует выбирать в соответствии с табл. 4.

Таблица 4

**Исходные данные для расчета нижнего концентрационного предела
воспламенения и минимального взрывоопасного содержания кислорода**

№ варианта	Горючее вещество	Химическая формула горючего вещества	ΔH_f^0 , кДж/моль	Окислитель	Флегматизатор
1	2	3	4	5	6
1	Метилмеркаптан	CH ₄ S	- 87,28	воздух	водяной пар
2	Метилмеркаптан	CH ₄ S	- 87,28	воздух	азот
3	Сероводород	H ₂ S	- 20,65	воздух	диоксид углерода
4	Сероводород	H ₂ S	- 20,65	воздух	азот
5	Формальдегид	CH ₂ O	- 95,35	кислород	водяной пар
6	Метилмеркаптан 60 % + Сероводород 40 %	C _{0,6} H _{3,2} S	- 60,63	воздух	диоксид углерода
7	Скипидар	C ₁₀ H ₁₆	- 58,73	кислород	диоксид углерода
8	Метанол	CH ₄ O	- 201,01	кислород	азот
9	Метилмеркаптан 50 % + Метанол 50 %	CH _{4,0} O _{0,5} S _{0,5}	- 144,14	воздух	водяной пар
0	Скипидар 25 % + Метанол 75 %	C _{3,25} H ₇ O _{0,75}	- 165,44	кислород	азот

Задание 3

Расчет условий теплового самовозгорания горючих веществ

Указания к решению и исходные данные

Процесс теплового самовозгорания характеризуется минимальной температурой окружающей среды (t_c), при которой возникает самонагревание в объеме вещества, и временем (τ) с момента достижения в этом объеме t_c до момента самовозгорания. Эти параметры могут быть рассчитаны из формул:

$$\lg t_c = A_p + n_p \lg S \quad (5)$$

$$\text{и } \lg t_c = A_b + n_b \lg \tau, \quad (6)$$

где A_p , A_b , n_p и n_b – постоянные величины, характерные для данного вещества или материала;

$S = \frac{F}{V}$ – удельная поверхность объема (V) вещества;

F – поверхность объема вещества, через которую осуществляется теплообмен с окружающей средой, м^2 .

При отсутствии экспериментальных данных по константам A_p , A_b , n_p и n_b можно использовать ориентировочный расчет условий теплового самовозгорания, при котором исходят из экспериментально найденных значений температуры самонагревания ($t_{\text{сн}}$) и температуры тления ($t_{\text{тл}}$) или самовоспламенения ($t_{\text{св}}$). При этом используют соотношения:

$$A_p = \lg t_{\text{сн}}, \quad (7)$$

$$n_p = 0,457 \lg \frac{t_{\text{тл}}}{t_{\text{сн}}} \quad (8)$$

$$\text{или } n_p = 0,457 \lg \frac{t_{\text{св}}}{t_{\text{сн}}} \quad (9)$$

Найденные по формулам (7) – (9) значения коэффициентов A_p и n_p подставляют в уравнение (5) и рассчитывают минимальную температуру окружающей среды, при которой возникает самовозгорание.

Однако вторую характеристику – временную – по формуле (6) указанным методом определить нельзя.

Безопасная температура хранения вещества выбирается меньшей, исходя из соотношений:

$$t_{\text{без}} \leq 0,9t_{\text{сн}} \quad \text{или} \quad t_{\text{без}} \leq 0,8t_{\text{с}}.$$

Варианты расчетных задач следует выбирать в соответствии с табл. 5.

2. ЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ВЗРЫВОВ

Задание 4

Расчет сухих огнепреградителей

Указания к решению и исходные данные

Расчет пламезадерживающей способности сухого огнепреградителя сводится к определению величины критического диаметра пламегасящего канала в слое гранулированного материала (гравия, песка, колец Рашига и др.), а по ней – эквивалентного диаметра гранулы и высоты слоя, обеспечивающего надежное гашение пламени в огнепреградителе.

Величина критического диаметра $\delta_{\text{кр}}$ пламегасящего элемента определяется по формуле:

$$\delta_{\text{кр}} = 5,33 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{T_0 \cdot \lambda}{U \cdot C_p \cdot P}, \text{ м}, \quad (10)$$

где T_0 – начальная температура горючей смеси, К;

λ – коэффициент теплопроводности горючей смеси при начальной температуре, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{град}$;

U – нормальная скорость пламени, м/с;

C_p – теплоемкость горючей смеси при начальной температуре,
 $\frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \cdot \text{град}$;

P – абсолютное давление исходной горючей смеси, МПа.

Для обеспечения запаса надежности найденное по формуле (10) значение $\delta_{кр}$ следует уменьшить в два раза.

Величина $\frac{\delta_{кр}}{2}$ сопоставляется с эквивалентным диаметром каналов насадки $d_{экр}$.

Для насадки из гранулированных материалов:

$$\frac{\delta_{кр}}{2} \geq d_{экр} = \frac{4\varepsilon}{\alpha},$$

где ε – свободный объем насадки, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

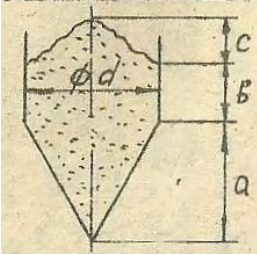
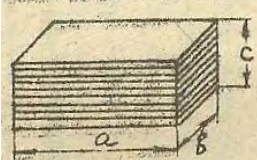
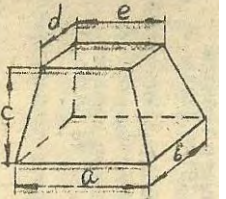
α – удельная поверхность насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Размер (диаметр) гранул в пламегасящем элементе следует выбирать в соответствии с диаметром пламегасящего канала:

Диаметр пламегасящего канала $d_{экр} \cdot 10^3$, м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Диаметр гранулы $d_{г} \cdot 10^3$ не более, м	2,5	3,7	5,0	6,0	7,5
Диаметр пламегасящего канала $d_{экр} \cdot 10^3$, м	3,55	4,0	5,0	6,3	10,0
Диаметр гранулы $d_{г} \cdot 10^3$ не более, м	9,0	10,0	12,0	15,0	25,0

Таблица 5

Исходные данные для расчета условий теплового самовозгорания горючих веществ

№ варианта	Геометрия объема вещества (материала)	Размеры, м					Вещество (материал)	Коэффициенты формул (5) и (6)				Температуры, °С		
		a	b	c	d	e		A_p	A_B	n_p	n_B	само-нагрева-ния t_{CH}	тления t_{TL}	само-восп-ламе-нения t_{CB}
1		1,4	1,0	0,5	1,6	-	дрожжи кормовые	1,867	2,254	0,184	0,078	-	-	-
2		1,5	1,5	0,6	1,8	-	витаминная листовенная мука	1,897	2,268	0,157	0,106	95	-	-
3		1,75	1,8	0,6	2,0	-	витаминная хвойная мука	1,772	2,282	0,230	0,121	60	-	-
4		2,6	2,0	0,9	3,0	-	опилки сосновые	1,855	2,296	0,219	0,096	80	-	-
5		1,4	1,2	1,5	-	-	картон кровельный	1,974	0,159	2,334	0,142	100	-	-
6		2,5	1,8	1,5	-	-	ДВП	1,864	2,381	0,207	0,075	80	-	-
7		2,0	1,6	1,8	-	-	ДВП полутвердая	1,834	2,332	0,227	0,104	80	-	-
8		1,8	1,6	1,8	-	-	плита минераловатная	2,002	2,313	0,134	0,119	130	-	-
9		45,0	15,0	10,0	4,0	34,0	опилки еловые	-	-	-	-	100	220	347
0		60,0	10,0	5,0	4,0	54,0	торф фрезерный	1,781	2,396	0,264	0,180	70	-	-

Высота пламегасящего элемента ($H_{ПЭ}$) должна выбираться из соотношения:

$$H_{ПЭ} \geq 50 d_{\text{экв}} .$$

При расчетах критического диаметра пламегасящего элемента огнепреградителя в формулу (10) подставляют значения коэффициента теплопроводности, теплоемкости для смеси газов и паров, которая в простейшем случае состоит из двух компонентов – горючего вещества и окислителя.

Теплопроводность газовой смеси вычисляется по формуле:

$$\lambda_{\text{см}} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot \lambda_i \cdot M_i^{\frac{1}{3}}}{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot M_i^{\frac{1}{3}}} , \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}} ,$$

где μ_i - мольная доля i – го компонента смеси;

λ_i - коэффициент теплопроводности i -го компонента смеси, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{град}$

(см. табл. 6);

M_i – молекулярная масса i – го компонента смеси.

Теплоемкость смеси определяется по правилу аддитивности:

$$C_p = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot C_{p,i} , \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ}} \cdot \text{град} ,$$

где $C_{p,i}$ - мольная теплоемкость i -го компонента смеси, $\frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ}} \cdot \text{град}$

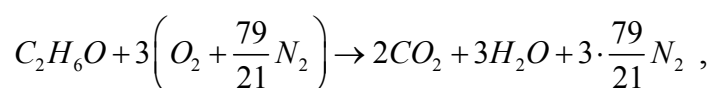
(см. табл. 6).

Теплофизические свойства веществ

Вещество	Коэффициент теплопроводности, $\lambda \cdot 10^2, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$	Удельная теплоемкость, $C_p, \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{град}}$
Водород	18,65	29,30
Воздух	1,72	29,10
Бутан	1,55	97,50
Диметилсульфид	1,59	74,00
Метиловый спирт	1,68	44,00
Пропан	1,73	73,60
Серовуглерод	0,81	54,10
Скипидар	1,45	137,40
Стирол	1,71	122,20
Толуол	1,65	136,30
Уксусная кислота	7,30	66,60
Этиловый спирт	1,62	65,30

Для расчета мольной доли каждого компонента в исходной горючей смеси необходимо составить уравнение химической реакции между горючим веществом и окислителем. При этом расчет ведут на смесь стехиометрического состава. В качестве окислителя можно принять воздух нормального состава, в котором на 1 моль кислорода приходится $\frac{79}{21}$ молей азота. При подсчете общего количества молей отдельных компонентов в исходной смеси необходимо учитывать и содержание в ней азота.

Пример. Уравнение химической реакции горения паров этилового спирта в воздухе нормального состава запишется в следующем виде:



т.е. общее число молей компонентов в исходной смеси составит:

$$1 + 3 + 3 \cdot \frac{79}{21} = 15,3,$$

а мольная доля, например, паров этилового спирта в исходной смеси:

$$\mu = \frac{1}{15,3} = 0,0654.$$

Исходные данные для расчета сухих огнепреградителей

№ варианта	Состав горючей части смеси	Начальная температура смеси, К	Начальное давление смеси, МПа	Нормальная скорость горения, м/с
1	2	3	4	5
1	Этиловый спирт (C ₂ H ₆ O) – 100 %	300	0,10	0,56
2	Сероуглерод (CS ₂) – 100 %	295	0,10	0,59
3	Скипидар (C ₁₀ H ₁₆) – 30 %	320	0,15	0,45
	Диметилсульфид ((CH ₃) ₂ S) – 20 %			
	Метиловый спирт (CH ₄ O) – 50 %			
4	Метиловый спирт (CH ₄ O) – 100 %	290	0,10	0,50
5	Водород – 100 %	300	0,20	2,70
6	Скипидар (C ₁₀ H ₁₆) – 100 %	293	0,10	0,48
7	Пропан (C ₃ H ₈) – 50 %	293	0,50	0,46
	Бутан (C ₄ H ₁₀) – 50 %			
8	Этиловый спирт (C ₂ H ₆ O) – 80 %	320	0,15	0,55
	Метиловый спирт (CH ₄ O) – 20 %			
9	Уксусная кислота (C ₂ H ₄ O ₂) – 100 %	310	0,10	0,39
0	Стирол (C ₈ H ₈) – 50 %	295	0,10	0,45
	Толуол (C ₇ H ₈) – 50 %			

Задание 5

Расчет предохранительных мембран

Указания к решению и исходные данные

Защита оборудования от разрушения с помощью предохранительных мембран заключается в создании специально ослабленного места в виде мембраны, заранее рассчитанной на разрушение при аварийном повышении давления выше заданной величины. Площадь отверстия после

разрыва мембраны должна быть такой, чтобы исключить возможность дальнейшего повышения давления в аппарате. Поэтому полный расчет предохранительной мембраны включает в себя расчет минимального рабочего диаметра мембраны и определение ее толщины.

Суммарная площадь сбросных отверстий F , достаточная для защиты аппарата от взрыва технологической среды, может быть определена из формулы:

$$F = \frac{1670 \cdot \left(\frac{dP}{d\tau} \right)_{\text{cp}} \cdot V^{\frac{2}{3}}}{\alpha \cdot (P + 0,1) \cdot \sqrt{\frac{T}{M} \cdot \frac{K}{K-1} \cdot \left(\varepsilon^{\frac{2}{K}} - \varepsilon^{\frac{K+1}{K}} \right)}}, \text{ мм}, \quad (11)$$

где $\left(\frac{dP}{d\tau} \right)_{\text{cp}}$ - средняя скорость нарастания давления при взрыве, МПа/с;

V – объем защищаемого аппарата, м³;

α – коэффициент расхода (для круглых мембран принимается равным 0,7~0,8);

P – максимальное избыточное давление перед мембраной, МПа;

T – температура в аппарате до начала взрыва, К;

M – средняя молярная масса горючей смеси в аппарате (для рассматриваемых условий может быть принята равной 30 г/моль);

$K = 1,3-1,4$ – показатель адиабаты;

$\varepsilon = \frac{P_0 + 0,1}{P + 0,1}$ – относительный перепад давлений на сбросном

отверстии;

P_0 – избыточное давление за предохранительной мембраной, МПа (если сброс осуществляется в атмосферу, то $P_0 = 0,1$ МПа).

Величина избыточного давления перед мембраной (давление срабатывания мембраны) назначается из следующих соображений:

- для аппаратов, работающих под избыточным давлением свыше 0,07 МПа, значение P не должно превышать рабочее давление в аппарате более, чем на 25 %;
- для аппаратов, работающих без избыточного давления, значение P принимается равным не менее 0,01 МПа при емкости аппарата менее 30 м³ и не менее 0,005 МПа – при емкости аппарата 30 м³ и более;
- для аппаратов, работающих под избыточным давлением до 0,07 МПа, значение P принимается равным не менее, чем на 0,03 МПа выше рабочего давления;
- для аппаратов, работающих под вакуумом, максимальное избыточное давление перед мембраной принимается равным не менее 0,1 МПа.

Рабочий диаметр D сбросного отверстия предохранительной мембраны определяется из формулы:

$$D \geq 2 \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \text{ мм}, \tag{12}$$

Окончательный выбор диаметра и числа предохранительных мембран определяется сортаментом отечественного проката для различных материалов, из которых изготавливаются мембраны (см. табл. 8).

Толщину δ разрывной мембраны из пластичного материала можно определить по формуле:

$$\delta = \frac{P \cdot D}{8 \cdot \sigma_{\text{вр}} \cdot K_t} \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{\gamma}{100}}{\sqrt{1 + \frac{\gamma}{100}} - 1}}, \text{ мм}, \tag{13}$$

где $\sigma_{\text{вр}}$ - предел прочности материала мембраны при растяжении, МПа (см. табл. 8);

K_t – температурный коэффициент (см. табл. 9);

γ – относительное удлинение материала при разрыве, % (см. табл. 8).

Остальные обозначения в уравнении (13) аналогичны обозначениям, принятым в формулах (11) и (12).

Таблица 8

**Рекомендуемые материалы для изготовления разрывных мембран
и их механические свойства**

Марка материала		Предел прочности $\sigma_{вр}$, МПа	Относительное удлинение γ , %	Толщина проката, мм	Ширина проката, мм	Максимальный диаметр мембраны D , мм
Алюминий	A7M	80	35	0,1-0,3	460	400
	A5M, A6M	80	35	0,25-0,5	до 1000	500*
	AD0M, AD1M	80	35	0,5-1,0	до 1000	500
Бронза БР, Б2		500	45	0,05-0,1	100	65
Латунь	Л62М	300	35	0,04-0,15	175	125
	Л68М	300	40	0,18-0,3	280	225
Медь	M1	210	30	0,05-0,1	200	150
	M2	210	30	0,1-0,5	300	250
	M3	210	30	0,5-2,0	600	500
Монель-металл		550	40	0,1-0,2	175	125
				0,2-1,5	300	250
Нержавеющая сталь		520	55	0,05-0,5	400	300
12X13H10T				0,5-1,0	600	500

* Предохранительные мембраны диаметром более 500 мм отечественной промышленностью не изготавливаются.

Значения температурного коэффициента K_t

Материал	Температура, К	K_t	Материал	Температура, К	K_t
Алюминий	293	1,00	Медь	273	1,03
	303	0,92		293	1,00
	313	0,83		323	0,97
	323	0,78		373	0,92
	333	0,71		423	0,85
	353	0,60			
	373	0,53			
Бронза	273	1,02	Латунь	273	1,03
	293	1,00		293	1,00
Монель-металл	293	1,00	Нержавеющая сталь	293	1,00
	323	0,98		313	0,95
	373	0,95		333	0,90
	423	0,92		353	0,83
	473	0,88		373	0,79
	523	0,85		398	0,75
	623	0,78		423	0,71
	723	0,72		473	0,65

Варианты расчетных задач следует выбирать в соответствии с табл. 10.

Таблица 10

Исходные данные для расчета предохранительных мембран

№ варианта	Вещество	Концентрация в воздухе, % об.	$\left(\frac{dP}{d\tau}\right)_{\text{ср}}$, МПа/с	Начальная температура в аппарате, К	Объем аппарата, м ³
1	2	3	4	5	6
1	Ацетилен	10	71,5	300	50
2	Ацетон	6	7,87	280	30
3	Пропан	5	11,1	300	15
4	Этан	5	9,2	310	60
5	Этиловый спирт	10	11,1	290	60
6	Алюминий измельченный	500 г/м ³	14,0	300	8
7	Древесная пыль хвойных пород	-	1,53	290	15
8	Лигнин	500	11,1	570	100
9	Дрожжи кормовые	-	19,4	570	100
0	Пыль угольная	125	11,5	340	25

Задание 6

Расчет предохранительного клапана

Указания к решению и исходные данные

Технологическое оборудование, в котором возможно аварийное повышение давления, должно быть защищено от разрушения с помощью предохранительных клапанов, работающих по принципу сброса из аппарата излишнего количества среды.

Источниками аварийного роста давления в аппаратах могут являться внезапные, не предусмотренные технологическим регламентом, процессы, как например:

- приток в аппарат газа, пара или жидкости при закрытом выходе технологической среды из него;
- нарушение температурного режима работы аппарата, в результате чего происходит нагрев газа или пара, испарение жидкости в нем или интенсификация химической реакции.

Причинами таких нарушений могут быть ошибки обслуживающего персонала, отказ запорно-регулирующей арматуры, выход из строя системы автоматического контроля и управления, разрушение внутренних устройств аппарата (труб, змеевиков, рубашек), интенсивный нагрев поверхности аппарата от внешнего теплового источника и др.

Для аппаратов, работающих под давлением, число предохранительных клапанов, их пропускную способность выбирают таким образом, чтобы избыточное давление в аппарате в аварийных ситуациях не превышало следующих значений по отношению к рабочему давлению $P_{\text{раб}}$:

$P_{\text{раб}}$, МПа	0,3	от 0,3 до 6,0	от 6,0
$P_{\text{атм}}$, МПа	$P_{\text{раб}} + 0,05$	$1,15 P_{\text{раб}}$	$1,1 P_{\text{раб}}$

Для выбора необходимого сечения клапана по заданному аварийному расходу среды через него – m_a , кг/ч – используется соотношение:

$$\frac{(\alpha \cdot F) \geq 0,1m_a}{[B_1 \cdot B_2 \cdot (P_{\text{атм}} + 0,1)]}, \text{ мм}^2, \quad (14)$$

где α – коэффициент расхода проходного сечения клапана площадью F ;

B_1 – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства парогазовой среды перед клапаном в аварийных условиях (при давлении $P_{\text{атм}}$ и температуре $T_{\text{атм}}$);

B_2 – коэффициент докритического расхода, учитывающий соотношение давлений за и перед клапаном.

Значение коэффициента B_1 определяют по формуле:

$$B_1 = 0,503 \cdot B_3 \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{(P_{\text{атм}} + 0,1)}}, \quad (15)$$

где ρ_1 – плотность среды перед клапаном в аварийных условиях, кг/м³;

B_3 – коэффициент адиабатического расширения среды при критическом отношении давлений.

Критическое отношение давлений β^* и коэффициент адиабатического расширения B_3 определяются уравнениями:

$$\beta^* = \left[\frac{2}{(k+1)} \right]^{\frac{k}{k-1}}, \quad (16)$$

$$\text{и } B_3 = (\beta^*)^k \cdot \sqrt{\frac{k}{(k+1)}}, \quad (17)$$

где k – показатель адиабаты, значение которого для некоторых веществ приведены в табл. 11.

**Значения показателей адиабаты для паров
и газов в нормальных условиях**

Наименование вещества	Показатель адиабаты, k	Наименование вещества	Показатель адиабаты, k
Азот	1,40	Воздух	1,40
Аммиак	1,32	Двуокись серы	1,29
Ацетилен	1,23	Кислород	1,40
Водород	1,41	Метан	1,31
Водяной пар	1,135	Пропан	1,14
Хлор	1,34		

Плотность технологической среды ρ_1 должна определяться с учетом повышения ее температуры перед клапаном за счет роста давления в аварийных условиях. Эта температура рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{атм}} = T_{\text{раб}} \cdot \left[\frac{(P_{\text{атм}} + 0,1)}{(P_{\text{раб}} + 0,1)} \right]^{\frac{(k-1)}{k}}, K, \quad (18)$$

где $T_{\text{раб}}$ – рабочая температура в аппарате, K .

Тогда

$$\rho_1 = \frac{120,3 \cdot M \cdot (P_{\text{атм}} + 0,1)}{T_{\text{атм}}}, \text{ кг/м}^3, \quad (19)$$

где M – молекулярная масса технологической среды, кг/кмоль .

Коэффициент докритического расхода B_2 рассчитывается из следующих условий.

При истечении среды через проходное сечение клапана, имеющего острые кромки, максимальный расход устанавливается при меньшем, чем β^* , отношении давлений, а именно $\beta_{\text{кл}}^* \approx 0,57\beta^*$, поэтому при докритическом режиме истечения среды, когда $\beta = \frac{(P_{\text{раб}} + 0,1)}{(P_{\text{атм}} + 0,1)} > \beta_{\text{кл}}^*$,

значение B_2 определяют по формуле:

$$B_2 = \left[1 - \left(\frac{\beta - \beta_{\text{кл}}^*}{1 - \beta_{\text{кл}}^*} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (20)$$

При $\beta \leq \beta_{\text{кл}}^*$ $B_2 = 1$.

Выбор типа предохранительного клапана по рассчитанному значению эффективной площади проходного сечения ($\alpha \cdot F$) производится по табл. 12 с учетом условий его изменения (рабочей температуры технологической среды, рабочего давления).

Таблица 12

**Технические характеристики предохранительных клапанов
для парогазовых сред**

Условное обозначение и тип клапана	Условия применения			Условный проход, D_y , мм	Эффективная площадь проходного сечения, $\alpha \cdot F$, мм ²
	Максимальная рабочая температура, T_{max} , К	Условное давление, P_y , МПа	Рабочее давление, $P_{\text{раб}}$, МПа (при T_{max})		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
17с II НЖ, малоподъемный	500	1,6	1,5	15; 25	8,8; 24,5
КВ 71-1-II-001, малоподъемный	520	0,6	0,4	20	15,7
17с 42 НЖ, полноподъемный	470	1,6	0,8	25	294
17с 24 НЖ, малоподъемный	670	4,0	2,5	50; 80	35,3; 62
СППК4-16, полноподъемный	870	1,6	0,6; 0,7	50; 80; 100; 150; 200	424; 754; 1178; 1628; 11080
СППК4-40, полноподъемный	870	4,0	1,7	50; 80; 100; 150	424; 754; 1178; 1628
СППК4-64	870	6,4	2,7	50; 80; 100	424; 680; 1085
СППК4-140, полноподъемный	870	16,0	6,6	50; 80	424; 680

Исходные данные для расчета предохранительного клапана

№ варианта	Наименование технологической среды в аппарате	Аварийный расход среды в аппарате, m_a , кг/ч	Рабочее давление в аппарате, $P_{\text{раб}}$, МПа	Рабочая температура в аппарате, $T_{\text{раб}}$, К
1	Воздух	10 000	1,2	320
2	Водяной пар	8 000	3,5	580
3	Азот	6 000	0,6	425
4	Водород	4 000	0,8	300
5	Кислород	2 000	1,6	320
6	Воздух	3 000	0,8	350
7	Водяной пар	5 000	6,0	650
8	Водород	7 000	1,6	320
9	Кислород	9 000	1,2	360
0	Азот	10 000	0,8	300

3. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Задание 7

Расчет защитного заземления

Указания к решению и исходные данные

Защитное заземление – это преднамеренное соединение с землей элементов оборудования, не находящихся в нормальных условиях эксплуатации под напряжением. При нарушении изоляции токоведущих частей электроустановки заземление снижает потенциал на металлических нетоковедущих частях до безопасного уровня.

Расчет защитного заземления сводится к определению его общего сопротивления в зависимости от выбранного числа, размера и схемы размещения одиночных заземлителей и заземляющих проводников. Это сопротивление не должно превышать определенной величины в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» и ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».

При расчете контура заземления, размещаемого в однородном грунте необходимо:

- определить сопротивление одиночного электрода-заземлителя R_B по формулам, приведенным в табл. 14;
- определить необходимое количество электродов n с учетом их взаимного экранирования по формуле:

$$n = \frac{R_B}{R_g \cdot \eta_B}, \tag{21}$$

где R_g – допустимое сопротивление заземления, Ом (см табл. 17);
 η_B – коэффициент использования вертикальных электродов (см. табл. 15);

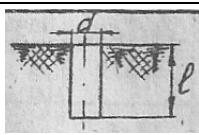
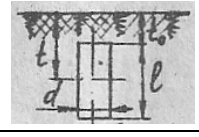
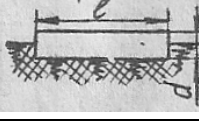

- определить сопротивление полосы R_n , соединяющей вертикальные электроды по формулам, приведенным в табл. 14;
- найти длину соединительной полосы:

$$l = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1), \text{ м}, \tag{22}$$

где a – расстояние между вертикальными заземлителями, м.

Таблица 14

Формулы для вычисления сопротивления одиночных заземлителей растеканию тока в однородном грунте

Тип заземлителя	Схема	Расчетная формула	Условия применения
1	2	3	4
Стержневой трубчатый (уголковый) у поверхности земли		$R_B = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg d$ для уголка с шириной полки «b» $d = 0,95b$
Стержневой трубчатый (уголковый) в земле		$R_B = \frac{\rho}{2\pi \cdot \varepsilon} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right)$	для уголка с шириной полки «b» $d = 0,95b$
Протяженный на поверхности земли (стержень, полоса, труба и т.д.)		$R_n = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4l^2}{d^2}$	для полосы шириной «b» $d = 0,5b$
Протяженный в земле (стержень, полоса, труба и т.д.)		$R_n = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{d \cdot t}$	для полосы шириной «b» $d = 0,5b$

**Коэффициент использования η_b вертикальных электродов
группового заземлителя без учета влияния полосы связи**

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	При размещении в ряд		При размещении по контуру	
	Число заземлителей (труб)	η_b	Число заземлителей (труб)	η_b
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	2	0,85	4	0,69
	3	0,77	6	0,61
	4	0,73	10	0,56
	5	0,70	20	0,47
	6	0,65	40	0,41
	10	0,59	60	0,39
	20	0,48	100	0,36
2	2	0,91	4	0,78
	3	0,87	6	0,73
	4	0,83	10	0,68
	5	0,80	20	0,63
	6	0,77	40	0,58
	10	0,74	60	0,55
	20	0,67	100	0,52
3	2	0,94	4	0,85
	3	0,91	6	0,80
	4	0,89	10	0,76
	5	0,87	20	0,71
	6	0,85	40	0,66
	10	0,81	60	0,64
	20	0,76	100	0,62

- определить общее расчетное сопротивление заземляющего устройства с учетом соединительной полосы:

$$R = \frac{R_b \cdot R_{\Pi}}{R_b \cdot \eta_r + R_{\Pi} \cdot \eta_b \cdot n}, \text{ Ом}, \quad (23)$$

где η_r - коэффициент использования соединительной полосы (см. табл. 16).

**Коэффициенты использования η_r горизонтальной полосы,
соединяющей вертикальные электроды группового заземлителя**

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов									
	2	4	6	8	10	20	30	40	50	60
Вертикальные электроды размещены в ряд										
1	0,85	0,77	0,72	0,67	0,62	0,42	0,31	-	0,21	-
2	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,56	0,46	-	0,36	-
3	0,96	0,92	0,88	0,85	0,82	0,68	0,58	-	0,49	-
Вертикальные электроды размещены по контуру										
1	-	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,22	0,21	0,20
2	-	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27
3	-	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,42	0,39	0,37	0,36

- полученное значение общего сопротивления заземляющего устройства сравнивают с допустимым:
 - если $R < R_g$, то все параметры принятого заземлителя выбраны правильно;
 - при $R > R_g$ необходимо внести поправки в принятую схему заземлителя, изменив, например, количество вертикальных заземлителей, и после этого расчет по формулам (21) + (23) повторяют.

Варианты расчетных задач следует выбирать в соответствии с табл. 17.

Исходные данные для расчета защитного заземления

№ варианта	Расположение электродов	Форма и размеры вертикального заземлителя	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Способ заложения в грунт	Расстояние между заземлителями, м	Форма и сечение соединительной полосы, мм	Допустимое сопротивление заземления, Ом
1	2	3	4	5	6	7	8
1	в ряд	труба $d = 0,05$ м $l = 2$ м	40	у поверхности земли	6	пруток $d = 8$ мм	4
2	в ряд	труба $d = 0,08$ м $l = 2,5$ м	700	в земле на глубине 0,8 м	7,5	полоса (40x4) мм	10
3	по прямоугольному контуру	уголок 40x40 $l = 2$ м	300	у поверхности земли	6	пруток $d = 10$ мм	4
4	в ряд	уголок 60x60 $l = 3$ м	100	на глубине 0,5 м	6	полоса (40x4) мм	4
5	в ряд	труба $d = 0,05$ м $l = 5$ м	300	на глубине 0,5 м	5	полоса (50x4) мм	10
6	по прямоугольному контуру	труба $d = 0,06$ м $l = 3$ м	40	на глубине 0,8 м	9	полоса (40x4) мм	0,5 м
7	по прямоугольному контуру	труба $d = 0,05$ м $l = 5$ м	50	у поверхности земли	5	полоса (40x4) мм	0,5 м
8	по прямоугольному контуру	труба $d = 0,05$ м $l = 5$ м	40	у поверхности земли	6	пруток $d = 8$ мм	0,5 м
9	в ряд	уголок 60x60 $l = 3$ м	300	у поверхности земли	5	полоса (40x4) мм	4
0	по прямоугольному контуру	труба $d = 0,05$ м $l = 2$ м	700	на глубине 0,5 м	7,5	полоса (50x4) мм	10

Задание 8

Расчет зануления

Указания к решению и исходные данные

Зануление состоит в соединении корпусов токоприемника или другого оборудования, которое может оказаться под напряжением в результате нарушения изоляции, с нулевым проводом при помощи металлических проводников. Зануление превращает пробой на корпус в однофазное короткое замыкание, при котором большой ток короткого замыкания обеспечивает быстрое отключение поврежденных фаз автоматическими устройствами или за счет перегорания плавких предохранителей.

При расчете зануления проверяют условие обеспечения отключающей способности зануления:

$$I_{\text{к.з.}} \geq 3I_{\text{п.в.}}^{\text{н}}, \quad (24)$$

где $I_{\text{к.з.}}$, $I_{\text{п.в.}}^{\text{н}}$ - соответственно, ток короткого замыкания в электрической цепи «фаза-нуль» и номинальный ток плавкой вставки, А.

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{T}}}{3} + Z_{\text{II}}}, \text{ А}, \quad (25)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение, В;

Z_{II} - полное сопротивление электрической цепи «фаза-нуль» без учета сопротивления трансформатора, Ом;

Z_{T} - полное сопротивление трансформатора, Ом (см. табл. 18).

Значение Z_{II} рассчитывают по формуле:

$$Z_{\text{II}} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{\text{H}})^2 + (X_{\phi} + X_{\text{H}} + X_{\text{И}})^2}, \text{ Ом}, \quad (26)$$

где R_{ϕ} и R_{H} - активные сопротивления фазного и нулевого проводников, Ом;

X_{Φ} и X_{H} – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников, Ом;

$X_{И}$ – внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза-нуль», Ом (принимается из расчета 0,6 Ом на 1 км протяжения сети).

Таблица 18

**Значения расчетных полных сопротивлений Z_T обмоток
масляных трехфазных трансформаторов**

Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высокого напряжения, кВ	Z_T при схеме соединения обмоток, Ом		Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высокого напряжения, кВ	Z_T при схеме соединения обмоток, Ом	
		звездой	треугольником			звездой	треугольником
25	6-10	3,110	0,906	250	6-10	0,312	0,090
40	6-10	1,949	0,562	400	6-10	0,195	0,056
63	6-10	1,237	0,360	630	6-10	0,129	0,042
100	6-10	0,799	0,226	1000	6-10	0,081	0,027
160	6-10	0,487	0,141	1600	6-10	0,054	0,017

Расчет ведут в следующем порядке:

- определяют номинальный ток для заданного типа электродвигателя в соответствии с табл. 19;

Таблица 19

**Закрытые обдуваемые двигатели единой серии 4А
на фазное напряжение 380 В**

Тип	Мощность, кВт	$\cos \alpha$	$K = \frac{I_{\Pi}}{I_{H}}$	Тип	Мощность, кВт	$\cos \alpha$	$K = \frac{I_{\Pi}}{I_{H}}$
4A80A2	1,5	0,85	6,5	4A132M2	10	0,90	7,5
4A90L2	3,0	0,88	6,5	4A1602	15	0,91	7,5
4A1002	4,0	0,89	6,5	4A18082	22	0,91	7,5
4A100L2	5,5	0,89	7,5	4A200M2	30	0,90	7,5
4A112M2	7,5	0,88	7,5	4A225M2	45	0,90	7,5

$$I_H = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \alpha}, \text{ A,}$$

где P – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

U_H – номинальное напряжение, В;

$\cos \alpha$ – коэффициент мощности.

- определяют пусковой ток двигателя:

$$I_{\Pi} = K \cdot I_H,$$

где K – кратность пускового тока по отношению к номинальному (см. табл. 19);

- определяют номинальный ток плавкой вставки:

$$I_{\text{п.в.}}^H = \frac{I_{\Pi}}{\alpha},$$

где α – коэффициент режима работы электродвигателя;

* $\alpha = 1,6 - 2,5$ (меньшие значения для двигателей с частыми включениями, большие – с редкими включениями);

- находят ожидаемое значение тока короткого замыкания:

$$I_{\text{к.з.}} \geq 3I_{\text{п.в.}}^H;$$

- рассчитывают плотность тока δ в нулевом проводе:

$$\delta = \frac{I_{\text{к.з.}}}{S}, \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}, \quad (27)$$

где S – сечение нулевого провода, мм^2 .

- по заданным размерам сечения проводников и найденным по формуле (27) плотностям тока в нулевом и фазном проводе находят их активные и индуктивные сопротивления:

$$R_{\Phi} = r_{\Phi} \cdot l_{\Phi}, \text{ Ом};$$

$$R_H = r_H \cdot l_H, \text{ Ом};$$

$$X_{\Phi} = X_{\text{w}\Phi} \cdot l_{\Phi}, \text{ Ом};$$

$$X_H = X_{\text{w}H} \cdot l_H, \text{ Ом},$$

где r_{Φ} , r_H , $X_{W\Phi}$, X_{WH} – табличные значения (см. табл. 18) активных и индуктивных сопротивлений стальных проводников, $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;

l_{Φ} , l_H – длины фазного и нулевого проводников, м.

- по формулам (26) и (27) находят значения Z_{Π} и $I_{К.з.}$ и проверяют условие надежного срабатывания защиты по неравенству (24).

Варианты расчетных задач следует принимать в соответствии с табл. 20.

Таблица 20

Активные и индуктивные сопротивления стальных проводников при переменном токе

Размеры сечения или диаметр, мм	Площадь сечения, мм ²	Активные/индуктивные сопротивления, Ом/км при плотности тока, А/мм ²			
		0,5	1,0	1,5	2,0
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Полоса прямоугольного сечения					
20x4	80	5,24/3,14	4,20/2,52	3,48/2,09	2,97/1,78
30x4	120	3,66/2,20	2,91/2,75	2,38/1,43	2,04/1,22
40x4	160	2,80/1,68	2,24/1,34	1,81/1,08	1,54/0,92
50x4	200	1,77/1,06	1,34/0,80	1,08/0,65	-
60x4	240	3,83/2,03	2,56/1,54	2,08/1,25	-
30x5	150	2,10/1,26	1,60/0,96	1,28/0,77	-
50x5	250	2,02/1,33	1,51/0,89	1,15/0,70	-
Проводник круглого сечения					
5	19,63	17,0/10,2	14,4/8,65	12,4/7,45	10,7/6,40
6	28,27	13,7/8,20	11,2/6,70	9,40/5,65	8,00/4,80
8	50,27	9,60/5,75	7,50/4,50	6,40/3,84	5,30/3,20
10	78,54	7,20/4,32	5,40/3,24	4,20/2,52	-
12	113,10	5,60/3,36	4,00/2,40	-	-
14	150,90	4,55/2,73	3,20/1,92	-	-
16	201,10	3,72/2,23	2,70/1,60	-	-

Исходные данные для расчета зануления

№ варианта	Мощность трансформатора, кВа	Схема соединения обмоток	Тип электродвигателя	Сечение проводников, мм		Длина проводников, м	
				нулевого $b \times h$	фазного d	нулевого	фазного
1	2	3	4	5	6	7	8
1	25	звездой	4A80A2	20 x 4	5	50	25
2	40	треугольником	4A90L2	20 x 4	5	75	50
3	63	звездой	4A1002	40 x 4	6	100	50
4	100	треугольником	4A100L2	50 x 4	8	110	50
5	160	треугольником	4A112M2	50 x 4	8	120	75
6	250	звездой	4A132M2	60 x 4	10	150	75
7	400	звездой	4A1602	60 x 4	10	150	50
8	630	звездой	4A18082	30 x 5	12	100	50
9	1000	треугольником	4A200M2	50 x 5	14	100	50
0	1600	звездой	4A225M2	50 x 5	14	100	75

Задание 9

Выбор плавких предохранителей

Указания к решению и исходные данные

При защите сетей от коротких замыканий плавкими предохранителями расчетную силу тока предохранителя определяют в зависимости от силы тока в сети и рода нагрузки.

При силовой нагрузке с наличием электродвигателей в момент пуска возникает ток, который по величине значительно больше номинального.

Силу пускового тока одиночного двигателя определяют из формулы:

$$I_{\text{п}} = \frac{1000 \cdot P \cdot K}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \alpha \cdot \eta}, \text{ А}, \quad (28)$$

где P – мощность электродвигателя, кВт;

$U_{\text{л}}$ – линейное напряжение в сети, В;

$\cos \alpha$ – коэффициент мощности (в расчетах можно принять $\cos \alpha = 0,85$);

K – кратность пускового тока по отношению к номинальному (в расчетах следует принимать $K = 7,0$).

Силу пускового тока для группы электродвигателей находят по формуле:

$$I_{\Pi} = \frac{(P_{\max} \cdot K + \sum P_i) \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}} \cdot \cos \alpha \cdot \eta}, \text{ А}, \quad (29)$$

где P_{\max} – наибольшая мощность электродвигателя, кВт;

$\sum P_i$ – суммарная мощность всех электродвигателей за вычетом P_{\max} , кВт;

η – коэффициент полезного действия ($\eta = 0,8$).

Зная величину пускового тока в сети, можно определить расчетную силу тока плавкой вставки по формуле:

$$I_{\text{п.в.}} = \frac{I_{\Pi}}{3}, \text{ А}. \quad (30)$$

Для плавких предохранителей установлены стандартные номинальные значения силы тока в 6, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 250, 300, 350, 430, 500, 600, 700, 850, 1000 А, поэтому найденное значение $I_{\text{п.в.}}$ округляют до ближайшего стандартного.

Далее необходимо проверить предохранитель по току короткого замыкания:

- в четырехпроводной сети с нулевым проводом плавкие предохранители проверяют по току короткого замыкания, исходя из соотношения:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3} \cdot (r_{\text{ф}} + r_0)} \geq 3I_{\text{п.в.}},$$

где $I_{\text{к.з.}}$ – ток короткого замыкания, А;

$U_{\text{Л}}$ – линейное напряжение в сети, В;

$r_{\text{ф}}$ – полное сопротивление фазного провода, Ом;

r_0 – полное сопротивление нулевого провода, Ом.

- в сетях трехфазных, трехпроводных плавкие предохранители проверяют по току короткого замыкания, используя неравенство:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\text{л}}}{2 \cdot r_{\phi}} \geq 3I_{\text{п.в.}}$$

- полное сопротивление проводника (фазного и нулевого):

$$r_{\phi} = \sqrt{r^2 + x^2},$$

где r – активное сопротивление, Ом;

x – реактивное сопротивление, Ом.

- активное сопротивление определяют по формуле:

$$r = \frac{\rho \cdot l}{S},$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·мм²/м (для меди $\rho = 0,0185$ и для алюминия $\rho = 0,0295$);

l – длина проводника, м;

S – поперечное сечение проводника, мм².

- для нахождения реактивной составляющей сопротивления можно считать, что каждые 1000 м проводника создают реактивное сопротивление, равное 0,6 Ом;
- из условия $I_{\text{к.з.}} \geq 3I_{\text{п.в.}}$ необходимая сила тока срабатывания плавкой вставки должна быть:

$$I_{\text{п.в.}} \leq \frac{I_{\text{к.з.}}}{3}.$$

Варианты расчетных задач следует выбирать в соответствии с табл. 22.

Исходные данные для выбора плавких предохранителей

№ варианта	Поперечное сечение проводника, мм ²		Материал проводника	Длина сети, м	Мощность двигателей, кВт	Кол-во двигателей	Напряжение (линейное) в сети, В
	нулевого	фазного					
1	4	5	медь	50	4,5	1	380
2	16	25	алюминий	100	5,0; 3,5; 1,5	3	380
3	16	25	алюминий	150	15	1	660
4	25	35	медь	200	7,5; 5,0; 5,0; 4,0; 2,5	5	380
5	25	35	медь	250	15; 10; 10; 7,5	4	380
6	35	50	медь	300	150	1	660
7	16	25	алюминий	400	75	1	380
8	16	25	алюминий	100	30; 15; 8; 4	4	380
9	16	25	алюминий	200	80	1	380
0	16	25	алюминий	250	15; 10; 10	3	380

4. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ*Задание 0*

Оценка индивидуального риска воздействия на человека поражающих факторов аварий на открытых складах с легковоспламеняющимися жидкостями

Указания к решению и исходные данные

При эксплуатации открытых складов с легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) одной из характеристик причин возникновения взрывоопасных аварийных ситуаций является разрушение емкостей, содержащих ЛВЖ, с последующим образованием взрывоопасного облака паров этих жидкостей на территории склада. При взрыве облака во фронте горения возникает ударная волна и интенсивное тепловое излучение,

которые при определенных условиях могут приводить к травмированию обслуживающего персонала.

Возможность неблагоприятного воздействия поражающих факторов аварии определяется величиной индивидуального риска по формуле:

$$R = 0,219 \cdot P_a \cdot P_{\text{п}}, \quad (31)$$

где P_a – вероятность возникновения аварии на складе ЛВЖ (принимается по статистическим данным об авариях на аналогичных производственных объектах), $P_a = 10^4$;

$P_{\text{п}}$ – вероятность поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от аварийной емкости.

В соответствии с принятыми нормативами безопасности риск воздействия опасных факторов аварии на человека в расчете на год не должен превышать 10^{-6} .

Вероятность поражения человека ударной волной взрыва парогазового облака определяется по табл. 23 через величину «пробит» - функции P_r , которая вычисляется по формуле:

$$P_r = 5 - 0,26 \ln \left[\left(\frac{1,75 \cdot 10^4}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I} \right)^{9,3} \right], \quad (32)$$

где ΔP – избыточное давление в горящем парогазовом облаке, Па;
 I – импульс волны давления, Па·с.

Таблица 23

**Значение вероятности поражения человека
 в зависимости от величины P_r**

Вероятность поражения	Величина «пробит» - функции P_r									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
0,1	3,72	3,77	3,82	3,90	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
0,2	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
0,3	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
0,4	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,5	5,0	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
0,6	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
0,7	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
0,8	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
0,9	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
0,99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Величину избыточного давления, развиваемого при сгорании паровоздушной смеси, находят по формуле:

$$ДР = \frac{30,3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{303 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{505 \cdot m_{\text{пр}}}{r^3}, \text{ Па}, \quad (33)$$

где r – расстояние от геометрического центра емкости до расчетной точки, м;

$m_{\text{пр}}$ – приведенная масса горючего вещества, кг:

$$m_{\text{пр}} = 2,21 \cdot 10^{-8} \cdot Q_{\text{сг}} \cdot m, \text{ кг}, \quad (34)$$

где $Q_{\text{сг}}$ – удельная теплота сгорания вещества, Дж/кг;

m – масса горючего вещества, участвующая в аварии, кг.

Импульс волны давления вычисляют по формуле:

$$I = \frac{123 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r}, \text{ Па}\cdot\text{с}. \quad (35)$$

Значение массы горючего вещества m в формуле (34) рассчитывают исходя из следующих предпосылок:

- все содержимое емкости при ее максимальном заполнении в момент аварии поступает в окружающее пространство;
- происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости: площадь испарения F_u , м², при этом определяется из условия, что 1 л жидкости образует поверхность испарения 0,15 м²;
- длительность испарения τ , с, жидкости принимается равной времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

Таким образом

$$m = W \cdot F_u \cdot \tau, \text{ кг}, \quad (36)$$

где W – интенсивность испарения, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$;

$$W = 10^{-6} \cdot P_n \cdot \sqrt{M}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}, \quad (37)$$

где M – молярная масса вещества, г/моль;

P_n – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости в емкости, КПа (см. исходные данные в табл. 24).

Таблица 24

**Исходные данные для оценки индивидуального риска воздействия на человека
поражающих факторов аварий на открытых складах с ЛВЖ**

№ варианта	Характеристика склада				Характеристика легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ)						
	Объем емкости, м ³	Кoeffи- циент запол- нения	Расчетная темпера- тура аварии, °С	Вероят- ность аварии, P_a	Наименование и химическая формула	Удельная теплота сгорания, $Q_{сг}$, кДж/кг	Плотность, ρ кг/м ³	Значения коэффициентов в формуле $\lg P_n = A - \frac{B}{T} + C_1 \cdot T + C_2 \cdot T^2$			
								A	B	C_1	C_2
1	100	0,80	30	10^{-4}	скипидар $C_{10}H_{16}$	41 900	870	13,026	2 923	$-1,08 \cdot 10^{-2}$	$7,17 \cdot 10^{-6}$
2	120	0,75	28	10^{-4}							
3	85	0,70	25	10^{-4}							
4	75	0,72	32	10^{-4}							
5	100	0,80	30	10^{-4}	фурфурол $C_5H_4O_2$	24 345	1 155	13,680	3 184	$-1,08 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-6}$
6	90	0,75	28	10^{-4}							
7	85	0,70	25	10^{-4}							
8	75	0,72	32	10^{-4}							
9	75	0,80	32	10^{-4}	этилацетат $C_4H_8O_2$	23 586	900	16,960	3 311	$-1,80 \cdot 10^{-2}$	$14,7 \cdot 10^{-6}$
0	100	0,72	27	10^{-4}							

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водяник В.И. Предохранительные устройства для защиты химического оборудования: справочное пособие. – М.: Химия, 1975.
2. Водяник В.И. и др. Предохранительные мембраны: справочное пособие. – М.: Химия, 1982.
3. Гаврилова Н.Н. Оценка химической обстановки на объектах, имеющих сильнодействующие ядовитые вещества. СПб ГТУРП, – СПб, 2008.
4. Гаврилова Н.Н. Оценка химической обстановки при применении химического оружия. СПб ГТУРП – СПб, 2003.
5. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоиздат, 1982.
6. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Инженерные решения по охране труда в строительстве: справочник/под ред. Г.Г. Орлова. – М.: Стройиздат, 1985.
8. Максимов В.Ф. Охрана труда в ЦБП. 3-е изд., перераб. – М.: Лесная промышленность, 1985.
9. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. 2-е изд. – М.: Химия, 1979.
10. Якимов В.И. Пожарно-технические расчеты в технологических процессах при использовании горючих веществ: учебное пособие. – Л.: ЛТА, 1983.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.....	3
1. РАСЧЕТ ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ.....	3
Задание 1. Определение температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей..	3
Задание 2. Расчет нижнего концентрационного предела воспламенения горючих газов и паров и минимального взрывоопасного содержания кислорода.....	6
Задание 3. Расчет условий теплового самовозгорания горючих веществ.....	9
2. ЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ВЗРЫВОВ	
Задание 4. Расчет сухих огнепреградителей.....	10
Задание 5. Расчет предохранительных мембран.....	15
Задание 6. Расчет предохранительного клапана.....	20
3. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ.....	24
Задание 7. Расчет защитного заземления.....	24
Задание 8. Расчет зануления.....	29
Задание 9. Выбор плавких предохранителей.....	33
4. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ.....	36
Задание 0. Оценка индивидуального риска воздействия на человека поражающих факторов аварий на открытых складах с легковоспламеняющимися жидкостями.....	36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	41

Гаврилова Нелли Николаевна

Якимов Владислав Иванович

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Часть 1. Техника безопасности

Методические указания для выполнения
контрольных работ студентами заочного факультета
всех специальностей

Редактор и корректор Басова В.А.
Технический редактор Титова Л.Я.

Темплан 2011 г., поз. 74

Подп. к печати _____ Формат 60x84/16. Бумага тип. №1.
Печать офсетная. Объем 2,5 печ. л., 2,5 уч.-изд. л. Тираж 50 экз.
Изд. № 74. Цена «С». Заказ

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического
университета растительных полимеров, 198095, Санкт-Петербург,
ул. Ивана Черных, 4.