

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине «**Методологические аспекты обеспечения пожарной
безопасности технологических процессов и производств**»
для студентов направления подготовки
20.04.01 Техносферная безопасность
направленность (профиль) «Промышленная и пожарная безопасность»

**Ставрополь
2026**

Практическое занятие 1

Оценка зон пожаровзрывоопасности технологических процессов

Теоретическая часть

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов – совокупность свойств, характеризующих их способность к возникновению и распространению горения. Следствием горения, в зависимости от его скорости и условий протекания, могут быть пожар (диффузионное горение) или взрыв (дефлаграционное горение предварительно перемешанной смеси горючего с окислителем).

Одним из показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов является концентрационный предел распространения пламени (нижний или верхний).

Нижний (верхний) концентрационный предел распространения (НКПР) пламени – минимальное (максимальное) содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Метод расчета зон, ограниченных НКПР газов и паров, при аварийном поступлении горючих газов и паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей в открытое пространство при неподвижной воздушной среде

1. Расстояния, ограничивающие область концентраций, превышающих НКПР ($X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$, м) для горючих газов (ГГ) и легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), рассчитывают по формулам

для ГГ

$$X_{НКПР} = Y_{НКПР} = 14,6 \left(\frac{m_g}{\rho_g C_{НКПР}} \right)^{0,33}, \quad (1)$$

$$Z_{НКПР} = 0,33 \left(\frac{m_z}{\rho_z C_{НКПР}} \right)^{0,33}, \quad (2)$$

для паров ЛВЖ

$$X_{НКПР} = Y_{НКПР} = 3,2 \sqrt{K} \left(\frac{p_n}{C_{НКПР}} \right)^{0,8} \left(\frac{m_n}{\rho_n \cdot p_n} \right)^{0,33}, \quad (3)$$

$$X_{НКПР} = Y_{НКПР} = 0,12 \sqrt{K} \left(\frac{p_n}{C_{НКПР}} \right)^{0,8} \left(\frac{m_n}{\rho_n \cdot p_n} \right)^{0,33}, \quad (4)$$

где m_z – масса поступившего в открытое пространство ГГ при аварийной ситуации, кг;

ρ_z – плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³;

m_n – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, но не более 3600 с, кг;

ρ_n – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³;

p_n – давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа;

K – коэффициент ($K = \frac{T}{3600}$ для ЛВЖ);

T – продолжительность поступления паров ЛВЖ в открытое пространство, с;

$C_{НКПР}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ или паров ЛВЖ, % (об.).

2. Радиус (R_0 , м), и высоту (Z_0 , м), зоны, ограниченной НКПР газов и паров, вычисляют исходя из значений $H_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$.

При этом $R_0 > X_{НКПР}$, $R_0 > Y_{НКПР}$ и $Z_0 > h + R_0$ для ГГ и $Z_0 > Z_{НКПР}$ для ЛВЖ (h – высота источника поступления газа от уровня земли, м).

Для ГГ геометрически зона, ограниченная НКПР газов, будет представлять цилиндр с основанием радиусом R_0 и высотой $h_0 = 2R_0$ при $R_0 \leq h$ и $h_0 = h + R_0$ при $R_0 > h$, внутри которого расположен источник

возможного выделения ГГ.

Для ЛВЖ геометрически зона, ограниченная НКПР паров, будет представлять цилиндр с основанием радиусом R_0 и высотой $h = Z_{НКПР}$ при высоте источника паров ЛВЖ $h < Z_{НКПР}$ и $h_0 = h + Z_{НКПР}$ при $h \geq Z_{НКПР}$.

За начало отсчета зоны, ограниченной НКПР газов и паров, принимают внешние габаритные размеры аппаратов, установок, трубопроводов и т. п.

3. Во всех случаях значения $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$ должны быть не менее 0,3 м для ГГ и ЛВЖ.

Метод расчета размеров зон, ограниченных НКПР газов и паров, при аварийном поступлении горючих газов и паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей в помещение

Нижеприведенные расчетные формулы применяют для случая $100m/(\rho_{г,n} * V_{св}) < 0,5 * C_{НКПР}$ и помещений в форме прямоугольного параллелепипеда с отношением длины к ширине не более 5.

1. Расстояния $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$ рассчитывают по формулам

$$X_{НКПР} = K_1 l (K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}})^{0,5} \quad (5)$$

$$Y_{НКПР} = K_1 b (K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}})^{0,5} \quad (6)$$

$$Z_{НКПР} = K_3 h (K_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}})^{0,5} \quad (7)$$

где K_1 — коэффициент, принимаемый равным 1,1314 для горючих газов и 1,1958 для легковоспламеняющихся жидкостей;

K_2 — коэффициент, равный 1 для горючих газов;

$K_2 = \frac{T}{3600}$ для легковоспламеняющихся жидкостей;

K_3 — коэффициент, принимаемый равным 0,0253 для горючих газов при отсутствии подвижности воздушной среды; 0,02828 для горючих газов при подвижности воздушной среды; 0,04714 для легковоспламеняющихся

жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды и 0,3536 для легковоспламеняющихся жидкостей при подвижности воздушной среды;

h – высота помещения, м;

δ – допустимые отклонения концентраций при задаваемом уровне значимости $Q(C > \bar{C})$, приведенные в таблице 1;

l, b – длина и ширина помещения, соответственно, м;

C_0 – предэкспоненциальный множитель, % (об.), равный:

1) при отсутствии подвижности воздушной среды для горючих газов

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\text{св}} V_{\text{св}}}, \quad (8)$$

2) при подвижности воздушной среды для горючих газов

$$C_0 = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{m}{\rho_{\text{св}} V_{\text{св}} U}, \quad (9)$$

где U – подвижность воздушной среды, м/с;

3) при отсутствии подвижности воздушной среды для паров ЛВЖ

$$C_0 = C_n \left(\frac{m100}{C_n \rho_n V_{\text{св}}} \right)^{0,41}, \quad (10)$$

где C_n – концентрация насыщенных паров при расчетной температуре t_p , °С, воздуха в помещении, % (об.).

Таблица 1 – Значения допустимых отклонений δ концентраций при уровне значимости $Q(C > \bar{C})$

Характер распределения концентраций	$Q(C > \bar{C})$	δ
1	2	3
Для горючих газов при отсутствии подвижности воздушной среды	0,100 000	1,29
	0,050 000	1,38
	0,010 000	1,53
	0,003 000	1,63
	0,001 000	1,70
	0,000 001	2,04
Для горючих газов при подвижности воздушной среды	0,100 000	1,29
	0,050 000	1,37
	0,010 000	1,52
	0,003 000	1,62

Для паров легко воспламеняющихся жидкостей при отсутствии подвижности воздушной среды	0,001 000	1,70
	0,000 001	2,03
	0,100 000	1,19
	0,050 000	1,25
	0,010 000	1,35
	0,003 000	1,41
	0,001 000	1,46
Для паров легко воспламеняющихся жидкостей при подвижности воздушной среды	0,000 001	1,68
	0,100 000	1,21
	0,050 000	1,27
	0,010 000	1,38
	0,003 000	1,45
	0,001 000	1,51
	0,000 001	1,75

Концентрация (C_n , %) может быть найдена по формуле

$$C_n = \frac{100 p_n}{p_0}, \quad (11)$$

где p_n — давление насыщенных паров при расчетной температуре (находится по справочной литературе), кПа;

p_0 — атмосферное давление, равное 101 кПа;

ρ_n — плотность паров, кг/м³.

При подвижности воздушной среды для паров ЛВЖ предэкспоненциальный множитель (C_0 , %)

$$C_0 = C_n \left(\frac{m100}{C_n \rho_n V_{св}} \right)^{0,46}, \quad (12)$$

При отрицательных значениях логарифмов расстояния $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$ принимают равными 0.

2. Радиус R_0 и высоту Z_0 , м, зоны, ограниченной НКПР газов и паров, вычисляют исходя из значений $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$ для заданного уровня значимости Q .

При этом $R_0 > X_{НКПР}$, $R_0 > Y_{НКПР}$ и $Z_0 > h + R_0$ для ГГ и $Z_0 > Z_{НКПР}$ для ЛВЖ (h — высота источника поступления газа от пола помещения для ГГ тяжелее воздуха и от потолка помещения для ГГ легче воздуха, м).

Для ГГ геометрически зона, ограниченная НКПР газов, будет

представлять цилиндр с основанием радиусом R_6 и высотой $h_6 = 2 R_6$ при $R_6 \leq h$ и $h_6 = h + R_6$ при $R_6 > h$, внутри которого расположен источник возможного выделения ГГ. Для ЛВЖ геометрически зона, ограниченная НКПР паров, будет представлять цилиндр с основанием радиусом R_6 и высотой $Z_6 = Z_{НКПР}$ высоте источника паров ЛВЖ $h < Z_{НКПР}$ и $Z_6 = h + Z_{НКПР}$ при $h \geq Z_{НКПР}$. За начало отсчета принимают внешние габаритные размеры аппаратов, установок, трубопроводов и т. п.

3. Во всех случаях значения расстояний $X_{НКПР}$, $Y_{НКПР}$ и $Z_{НКПР}$ должны быть не менее 0,3 м для ГГ и ЛВЖ.

Критерием определения потенциальной опасности пожаровзрывоопасного объекта экономики (ОЭ) служит количества вещества (Q , т), обращающегося на объекте, плотность рабочих и служащих объекта и населения в зоне потенциальной опасности, а также среднее число погибших при заданной плотности населения. Прогноз потенциальной опасности при мгновенном разрушении резервуара топливовоздушной смеси (ТВС), и при испарении разлитой жидкости представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Прогнозирование потенциальной опасности ОЭ при взрыве ТВС А. Мгновенное разрушение резервуара хранения

Q, т	Среднее число погибших при плотности населения тыс. чел./км ²										Радиус смерт. поражения, м
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	3	14
0,5	0	1	1	1	2	3	4	5	6	8	24
1,0	1	1	1	2	3	5	6	8	9	12	30
3,0	1	2	4	5	6	9	12	16	19	25	43
5,0	2	4	5	7	9	13	18	22	26	35	51
10,0	3	6	8	11	14	21	28	35	42	56	65
15,0	4	7	11	15	18	27	36	46	55	73	74
25,0	5	10	15	20	26	38	51	64	77	102	88
50,0	8	16	24	32	41	61	81	102	122	162	110
100,0	13	26	39	52	64	97	129	161	193	258	139

Таблица 3 – Прогнозирование потенциальной опасности ОЭ при

взрыве ТВС Б. Образование облака при испарении разлитой жидкости (из 50% массы)

Q, т	Среднее число погибших при плотности населения, тыс. чел./км ²										Радиус смерт. поражения, м
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	
0,1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	11
0,5	0	0	1	1	1	2	2	3	4	5	19
1,0	0	1	1	2	2	3	4	5	6	8	24
3,0	1	2	2	3	4	6	8	10	12	16	34
5,0	1	2	3	4	6	8	11	14	17	22	41
10,0	2	4	5	7	9	13	18	22	26	35	51
15,0	2	5	7	9	11	17	23	29	34	46	59
25,0	3	6	10	13	16	24	32	40	48	65	70
50,0	5	10	15	20	26	38	51	64	77	102	88
100,0	8	16	24	32	41	61	81	102	122	162	110

Вопросы и задания

1. Определить размеры зоны, ограниченной НКПР паров, при аварийной разгерметизации трубопровода, транспортирующего ацетон.

Данные для расчета. Трубопровод, транспортирующий ацетон, проложен на открытом пространстве на высоте h , м от поверхности земли. Трубопровод оснащен ручными задвижками.

Масса паров ацетона, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, составляет m_n , кг при времени испарения T , с. Максимально возможная температура для данной климатической зоны $t_p = 36$ °С. Плотность паров ацетона $\rho_a = 2,29$ кг/м³ при t_p . Нижний концентрационный предел распространения пламени паров ацетона $C_{НКПР} = 2,7$ % (об.). Давление насыщенных паров ацетона $p_n = 48,09$ кПа при t_p .

Таблица 4 – Исходные данные для решения задания 1

Вариант	h , м	m_n , кг	T , мин
1	0,5	240	60
2	0,8	200	70
3	0,6	150	80
4	0,7	210	90
5	0,9	230	50
6	1,0	250	40
7	1,1	180	100
8	0,5	260	45
9	0,7	280	55

10	0,9	300	100
11	1,2	160	65
12	1,4	130	30
13	0,4	170	35
14	0,6	190	95
15	0,9	220	110
16	1,2	270	105
17	1,0	280	60
18	1,2	220	80

2. Определить размеры зоны, ограниченной НКПР газов, при аварийной разгерметизации емкости с метаном на открытом пространстве.

Данные для расчета. При разгерметизации емкости в атмосферу поступит m_r , кг метана. Емкость представляет собой цилиндр с основанием радиусом x , м и высотой h_a , м. Максимально возможная температура для данной климатической зоны $t_p = 30$ °С. Плотность метана ρ_m при t_p равна 0,645 кг/м³. Нижний концентрационный предел распространения пламени метана $C_{НКПР} = 5,28$ % (об.)

Таблица 5 – Исходные данные для решения задания 2

Пара-метр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
m_r (кг)	20	15	16	17	18	19	21	23	24	25	26	27	28	29	30	31	22	28
x , м	1	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,0	1,2	1,3	1,4	1,2
h_a , м	10	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	11	12

3. Определить размеры зоны, ограниченной НКПР паров, образующейся при аварийной разгерметизации аппарата с ацетоном, при работающей и неработающей общеобменной вентиляции.

Данные для расчета. В центре помещения размером $A \times B$, м² и высотой h_n , м установлен аппарат с ацетоном. Аппарат представляет собой цилиндр с основанием диаметром d_a , м, и высотой h_a , м, в котором содержится M , кг, ацетона. Расчетная температура в помещении $t_p = 30$ °С. Плотность паров ацетона ρ_a при t_p равна 2,33 кг/м³. Давление насыщенных паров ацетона p_n при t_p равно 37,73 кПа. Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР} = 2,7$ % (об.). В результате разгерметизации аппарата в помещение поступит M , кг, паров ацетона за время испарения T , с. При

работающей общеобменной вентиляции подвижность воздушной среды в помещении $v = 0,1$ м/с (при уровне значимости Q).

Таблица 6 – Исходные данные для решения задания 3

Вариант	A, м	B, м	d_a , м	h_a , м	M кг	T, с	Q
1	40	40	0,5	1,0	25	208	0,1
2	35	35	0,6	1,1	26	200	0,05
3	36	36	0,7	1,2	27	180	0,03
4	37	37	0,8	1,3	28	170	0,01
5	38	38	0,9	1,4	29	150	0,1
6	39	39	1,0	1,6	30	220	0,05
7	30	30	1,1	1,7	31	250	0,03
8	25	25	1,2	1,8	32	120	0,01
9	28	28	0,6	1,0	24	170	0,1
10	42	42	0,5	1,0	26	270	0,05
11	43	43	0,6	1,1	28	300	0,03
12	45	45	0,7	1,2	26	220	0,01
13	26	26	0,8	1,3	30	230	0,1
14	27	27	0,9	1,4	32	310	0,05
15	29	29	1,0	1,6	33	160	0,03
16	31	31	1,1	1,7	34	200	0,01
17	32	32	1,2	1,8	35	300	0,1
18	30	40	0,9	1,3	32	255	0,03

Практическое занятие 2

Расчет параметров испарения горючих ненагретых жидкостей и сжиженных углеводородных газов

Теоретическая часть

Интенсивность испарения W , кг/(с·м²), определяют по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых выше температуры окружающей среды ЛВЖ, при отсутствии данных допускается рассчитывать W по формуле¹⁾

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} p_n, \quad (1)$$

Формула применима при температуре подстилающей поверхности от минус 50 до плюс 40 °С.

где η — коэффициент, принимаемый по таблице 1 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

M — молярная масса, г/моль;

p_n — давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости t_p , определяемое по справочным данным, кПа.

Таблица 1

Скорость воздушного потока в помещении, м/с	Значение коэффициента η при температуре t , °С, воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Для сжиженных углеводородных газов (СУГ) при отсутствии данных допускается рассчитывать удельную массу паров испарившегося СУГ $m_{\text{СУГ}}$, кг/м², по формуле¹⁾

$$m_{\text{СУГ}} = \frac{M}{L_{\text{исп}}} (T_0 - T_{\text{ж}}) \left(2\lambda_{\text{те}} \sqrt{\frac{t}{\pi a}} + \frac{5,1\sqrt{\text{Re}}\lambda_g t}{d} \right), \quad (2)$$

1) Формула применима при температуре подстилающей поверхности от минус 50 до плюс 40 °С.

где M — молярная масса СУГ, кг/моль;

$L_{исп}$ — молярная теплота испарения СУГ при начальной температуре СУГ $T_{ж}$, Дж/моль;

T_0 — начальная температура материала, на поверхность которого разливается СУГ, соответствующая расчетной температуре t_p , К;

$T_{ж}$ — начальная температура СУГ, К;

$\lambda_{те}$ — коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого разливается СУГ, Вт/(м · К);

a — эффективный коэффициент температуропроводности материала, на поверхность которого разливается СУГ, равный $8,4 \cdot 10^{-8}$ м²/с;

t — текущее время, с, принимаемое равным времени полного испарения СУГ, но не более 3600 с;

$Re = \frac{vd}{\nu}$ число Рейнольдса (v — скорость воздушного потока, м/с; d — характерный размер пролива СУГ, м;

ν — кинематическая вязкость воздуха при расчетной температуре t_p , м²/с);

$\lambda_{в}$ — коэффициент теплопроводности воздуха при расчетной температуре t_p , Вт/(м · К).

Вопросы и задания

1. Определить массу паров ацетона, поступающих в объем помещения в результате аварийной разгерметизации аппарата.

Исходные данные для расчета:

В помещении с площадью пола S , м² установлен аппарат с ацетоном максимальным объемом $V_{ан}$, м³. Ацетон поступает в аппарат самотеком по трубопроводу диаметром d_1 , м с расходом q , м³/с. Длина участка напорного

трубопровода от емкости до ручной задвижки L_1 , м. Длина участка отводящего трубопровода диаметром d_2 , м от емкости до ручной задвижки L_2 , м. Скорость воздушного потока u в помещении при работающей общеобменной вентиляции равна 0,2 м/с. Температура воздуха в помещении $t_p = 20$ °С. Плотность ρ ацетона при данной температуре равна 792 кг/м³. Давление насыщенных паров ацетона p_a при t_p равно 24,54 кПа.

Вариант	S , м ²	V_{an} , м ³	d_1 , м	q , м ³ /с	L_1 , м	d_2 , м	L_2 , м
1	50	3	0,05	$2 \cdot 10^{-3}$	1,5	0,05	1,0
2	60	4	0,04	$2,5 \cdot 10^{-3}$	1,6	0,04	1,1
3	70	5	0,06	$2,2 \cdot 10^{-3}$	1,7	0,06	1,2
4	80	2	0,05	$2,1 \cdot 10^{-3}$	1,8	0,05	1,3
5	45	3,5	0,04	$1,8 \cdot 10^{-3}$	1,9	0,04	1,4
6	55	2	0,06	$2,2 \cdot 10^{-3}$	2,0	0,06	1,5
7	65	3	0,05	$2,0 \cdot 10^{-3}$	2,1	0,05	1,0
8	70	4	0,04	$2,5 \cdot 10^{-3}$	2,2	0,04	1,5
9	55	5	0,06	$2,1 \cdot 10^{-3}$	1,5	0,06	1,4
10	50	4,5	0,05	$1,9 \cdot 10^{-3}$	1,8	0,05	1,6

2. Определить массу газообразного этилена, образующегося при испарении пролива сжиженного этилена в условиях аварийной разгерметизации резервуара.

Исходные данные для расчета:

Изотермический резервуар сжиженного этилена объемом $V_{и.р.э}$, м³ установлен в бетонном обваловании свободной площадью $S_{об}$, м² и высотой отбортовки $H_{об}$, м. Степень заполнения резервуара $\alpha = 0,95$.

Ввод трубопровода подачи сжиженного этилена в резервуар выполнен сверху, а вывод отводящего трубопровода снизу.

Диаметр отводящего трубопровода $d_{mp} = 0,25$ м. Длина участка трубопровода от резервуара до автоматической задвижки, вероятность отказа которой превышает 10^{-6} в год и не обеспечено резервирование ее элементов, $L=1$ м. Максимальный расход сжиженного этилена в режиме выдачи $G_{ж.э} = 3,1944$ кг/с. Плотность сжиженного этилена $\rho_{ж.э}$ при температуре эксплуатации $T_{эк} = 169,5$ К равна 568 кг/м³. Плотность газообразного этилена $\rho_{г.э}$ при $T_{эк}$ равна 2,0204 кг/м³. Молярная масса

сжиженного этилена $M_{ж.э} = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Мольная теплота испарения сжиженного этилена $L_{исп}$ при $T_{эк}$ равна $1,344 \cdot 10^4$ Дж/моль. Температура бетона равна максимально возможной температуре воздуха в соответствующей климатической зоне $T_{\delta} = 309$ К. Коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_{\delta} = 1,5$ Вт/(м·К). Коэффициент температуропроводности бетона $a = 8,4 \cdot 10^{-8}$ м²/с. Минимальная скорость воздушного потока $v_{\min} = 0$ м/с, а максимальная для данной климатической зоны $v_{\max} = 5$ м/с. Кинематическая вязкость воздуха ν_{δ} при расчетной температуре воздуха для данной климатической зоны $t_p = 36^{\circ}\text{C}$ равна $1,64 \cdot 10^{-5}$ м²/с. Коэффициент теплопроводности воздуха λ_{δ} при t_p равен $2,74 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К).

Вариант	$V_{и.р.э}, \text{м}^3$	$S_{об}, \text{м}^2$	$H_{об}, \text{м}$
1	10000	5000	2,0
2	9000	5200	2,1
3	11000	5100	2,2
4	10500	5300	2,0
5	11500	4500	2,1
6	12000	5800	2,2
7	9500	4000	2,0
8	11000	5200	2,1
9	10000	4500	2,2
10	9000	3800	2,0

Практическое занятие 3

Расчет параметров, характеризующих пожарную опасность распространения пожара на РВС с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим РВС

Теоретическая часть

Одним из опасных факторов пожара горящего резервуара для рядом расположенного резервуара является тепловое излучение от факела пламени.

Оценка устойчивости технологической системы «РВС-ЛВЖ», расположенной рядом с горящим резервуаром, к теплу пожара является одним из приоритетных вопросов в нормировании противопожарной защиты и базируется на решении двух задач:

- внешней, связанной с изучением закономерностей распределения тепловых нагрузок при открытых пожарах углеводородов;
- внутренней, связанной, с изучением процессов тепло – и массообмена, происходящих в резервуаре с ЛВЖ, обогреваемого теплом пожара.

Здесь в настоящей работе отрабатывается метод расчета параметров, характеризующих пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром.

Параметры, характеризующие пожарную опасность распространения пожара на РВС с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим РВС

Резервуары с ЛВЖ и ГЖ, расположенные рядом с горящим резервуаром иногда взрываются, а иногда в течение всего пожара остаются невредимыми. В отдельных случаях наблюдается факельное горение в местах выхода паров из резервуара или происходит механическое разрушение резервуара из-за повышения давления вследствие интенсивного кипения ЛВЖ.

Параметры, характеризующие пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром, представлены на рис. 5.1.

Устойчивое состояние резервуара с ЛВЖ обеспечивается при выполнении следующих двух условий:

- текущая температура стенки t_w не достигает опасного значения, равного температуре самовоспламенения паров ЛВЖ $t_{св}$;
- рабочие напряжения σ_p , возникающие в элементах оболочки резервуара под действием избыточного давления паров внутри резервуара, не достигают предела прочности $\sigma_{ПЧ}$.

Опасность взрыва внутри резервуара с ЛВЖ возникает при выполнении следующих двух условий:

- текущая температура стенки t_w достигает или превышает опасное значение, равное температуре самовоспламенения паров $t_{св}$;
- концентрация паров ЛВЖ φ_p внутри резервуара входит в область взрывоопасных значений;

Опасность факельного горения паров, выходящих из дыхательного клапана резервуара, характеризуется возможностью выполнения следующих двух условий:

- текущая температура стенки t_w достигает или превышает опасное значение, равное температуре самовоспламенения паров $t_{св}$.
- до и в процессе нагрева жидкости концентрация паров φ_p внутри резервуара превышает верхний концентрационный предел распространения пламени.

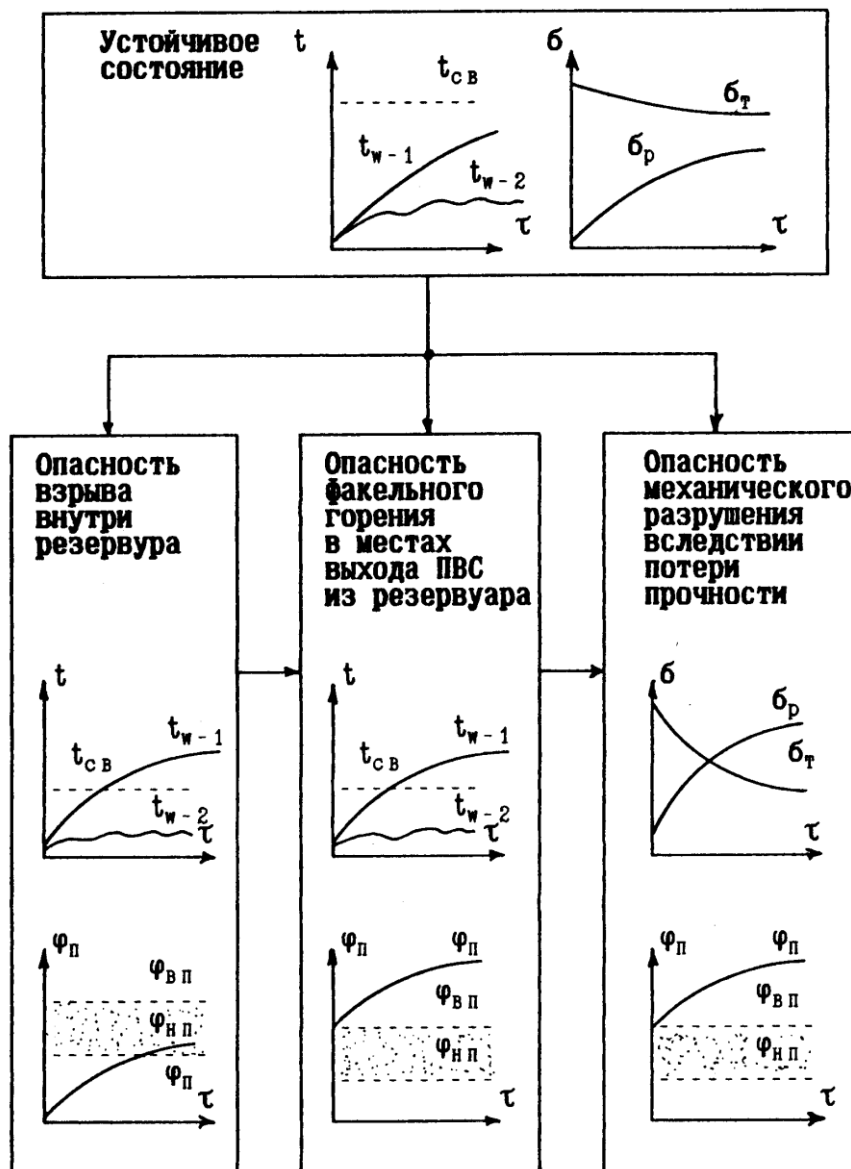


Рис. 1. Параметры, характеризующие пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром

Опасность разрушения резервуара с ЛВЖ вследствие потери прочности характеризуется выполнением следующего условия: рабочие напряжения σ_p , возникающие в элементах оболочки резервуара под действием избыточного давления паров внутри резервуара вследствие интенсивного кипения ЛВЖ, превышают предел прочности $\sigma_{пч}$

На основании проведенных исследований по изучению пожарной опасности резервуара с нефтепродуктами и нефтью в условиях пожара разработан метод расчета параметров, характеризующих пожарную

опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром.



Рис. 2. Экспериментальные исследования по изучению пожарной опасности резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром

Метод расчета параметров, характеризующих пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром

Расчетные положения справедливы для группы однотипных резервуаров в период начальной стадии пожара, т.е. до введения сил и средств на охлаждение резервуара.

Термические и геометрические параметры факела пожара

Максимальную среднеповерхностную плотность излучения, Вт*м⁻², которую факел пламени горящей ЛВЖ имеет в штиль, можно определить по следующей формуле:

$$q_{\Phi} = (335 + 7112 / d_p) m_{\text{выг}} \cdot 10^3, \quad (1)$$

где d_p – диаметр горящего резервуара, м;

$m_{\text{выг}}$ – массовая скорость выгорания ЛВЖ, кг*с⁻¹*м⁻².

В условиях штиля форму факела пламени рассматривают в виде качающегося цилиндра. Высоту факела пламени, м, определяют по формуле

$$h_{\Phi} = 42d_p \left(\frac{m_{\text{выг}}}{\rho_{\text{в}} \sqrt{gd_p}} \right)^{0.61}, \quad (2),$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг*м⁻³ (допускается принимать $\rho_{\text{в}}=1,2$ кг*м⁻³);

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м*с⁻².

В дальнейших расчетах в качестве излучающей поверхности принимают факел в виде плоскости с учетом фактора видимости.

Температура локального участка стенки резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром

Опасными конструктивными элементами резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром, которые могут быть нагреты до температуры самовоспламенения, и послужить источником зажигания взрывоопасной паровоздушной смеси, являются:

- участок стенки облучаемого резервуара, расположенный по нормали к основанию факела пламени;
- дыхательный или предохранительный клапан (из конструкции клапана следует установить, что при нагреве стенки клапана до температуры самовоспламенения пламя способно распространиться вовнутрь резервуара по горючей паровоздушной смеси);
- пенокамера при наличии негерметичности между ее корпусом и внутренней полостью резервуара;

В качестве элемента конструкции принимаем участок стенки облучаемого пожаром резервуара, расположенный по нормали к основанию факела пламени.

Плотность падающего теплового потока от факела горящего резервуара на элемент конструкции рядом расположенного резервуара

Плотность падающего теплового потока от факела горящего резервуара на элемент конструкции облучаемого резервуара, расположенной по нормали к основанию факела пожара, Вт*м⁻²

$$q_w = q_{\phi}^* \varphi_n. \quad (3)$$

Коэффициент облученности φ_n для элементарной площадки соседнего резервуара, расположенного по нормали к основанию факела пламени, определяем на основании расчетной схемы, показанной на рис. 3, по формуле

$$\varphi_n = \frac{1}{\pi} \left(\frac{B_1}{\sqrt{1+B_1^2}} \arcsin \frac{C_1}{\sqrt{1+B_1^2+C_1^2}} + \frac{C_1}{\sqrt{1+C_1^2}} \arcsin \frac{B_1}{\sqrt{1+B_1^2+C_1^2}} \right), \quad (4),$$

$$\text{где } B_1 = x_1/2y_1; \quad (5)$$

$$C_1 = h_{\phi}/y_1. \quad (6)$$

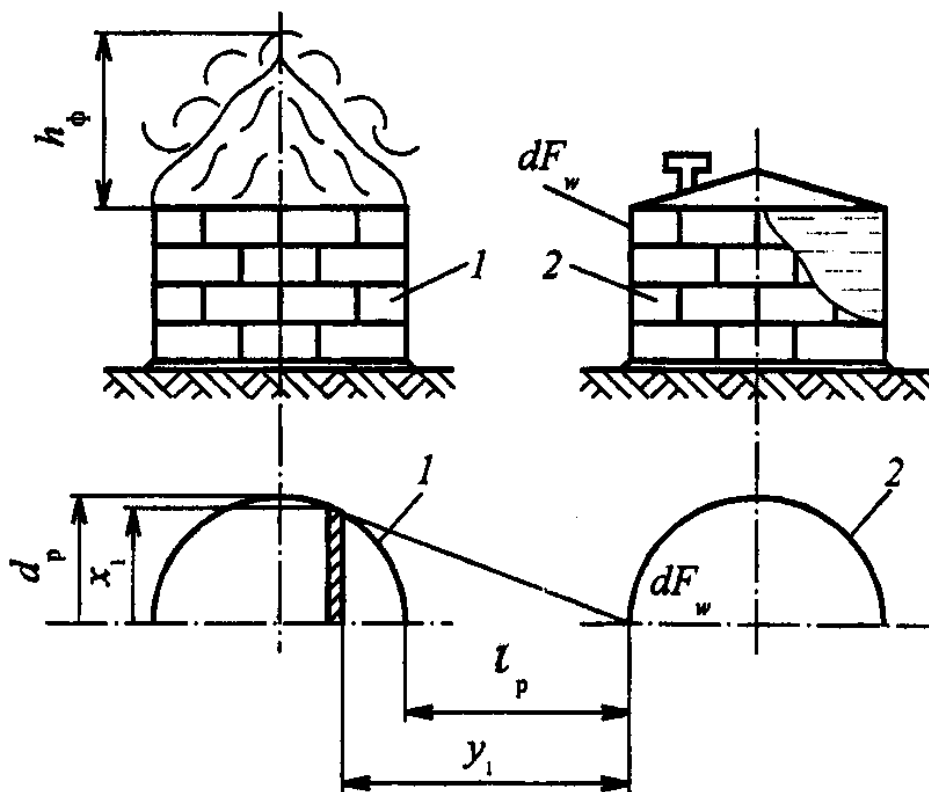


Рис. 3. Расчетная схема к определению температуры элемента конструкции РВС, расположенного рядом с горящим РВС:

1 -горящий РВС; 2 -соседний РВС; dF_w -элемент конструкции резервуара, расположенный по нормали к основанию факела пламени;

l_p -расстояние между резервуарами; y_1 -расчетное расстояние между пламенем и элементарной площадкой с учетом фактора видимости; x_1 -расчетная ширина пламени с учетом фактора видимости

Значения x_1 и y_1 (см. рис. 3) определяют по следующим формулам:

$$x_1 = \frac{2d_p \sqrt{l_p(l_p + d_p)}}{d_p + 2l_p}; \quad (7)$$

$$y_1 = \sqrt{l_p(l_p + d_p) - (0,5x_1)^2}. \quad (8)$$

Возможность и продолжительность нагрева элемента конструкции резервуара до температуры самовоспламенения

Максимальная температура элемента конструкции резервуара

$$t_{w-\max} = \sqrt{4900 + 6,8q_w} - 70 + t_f, \quad (9)$$

где t_f – температура окружающей среды, °С.

Если выполняется условие

$$t_{w-\max} \geq 0,8t_{св}, \quad (10)$$

то делают заключение о том, что элемент конструкции облучаемого резервуара может послужить источником зажигания, и определяют текущую температуру.

Коэффициент теплоотдачи, Вт*м⁻²* К⁻¹.

$$\alpha = \frac{0,95q_w}{2(t_{w-\max} - t_f)}. \quad (11)$$

Температура элемента конструкции через τ , с, облучения, °С,

$$t_w = \frac{0,95q_w}{2\alpha} \left[1 - \exp\left(-\frac{1,28\alpha\tau}{c_w\rho_w\delta_w}\right) \right] + t_f, \quad (12)$$

где c_w – теплоемкость материала конструкции, Дж*кг⁻¹*К⁻¹ (для стали, $c_w = 500$ Дж*кг⁻¹*К⁻¹); ρ_w – плотность материала конструкции, кг*м⁻³ (для стали, $\rho_w = 7800$ кг*м⁻³); δ_w – толщина стенки резервуара, м.

Температура поверхностного слоя ЛВЖ в РВС, расположенном рядом с горящим РВС

В основу формирования нагретого поверхностного слоя ЛВЖ в резервуаре, расположенном рядом с горящим резервуаром положена следующая модель.

Тепловой поток от факела пламени приводит к интенсивному нагреву боковой поверхности соседнего резервуара, расположенного рядом с горящим. В пристенном пограничном слое появляются подъемные силы (рис. 4), которые заставляют слой более нагретой ЛВЖ подниматься вдоль корпуса резервуара и растекаться по поверхности основной массы ЛВЖ. Это существенно влияет на температуру поверхностного слоя ЛВЖ.

Одновременно к этому всплывшему слою ЛВЖ передается тепло от стенок, ограничивающих газовое пространство резервуара, от крыши и парового пространства. В процессе теплообмена поверхностный слой ЛВЖ отдает часть тепла на испарение жидкости, а также нижележащим слоям путем теплопроводности. Часть тепла в этом сложном теплообмене отдается в окружающий воздух, а также основной массе ЛВЖ путем частичного смешивания при всплывании.

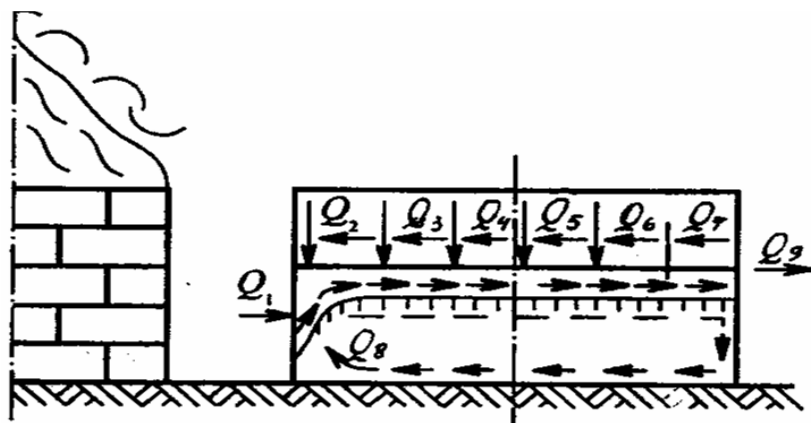


Рис. 4. Схема гидродинамических и тепловых потоков, формирующих нагретый поверхностный слой:

Q_1 -количество тепла, получаемого поверхностным слоем от теплообмена с облучаемой стенкой, которая контактирует с ЛВЖ;

Q_2 -количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ от теплообмена с облучаемой стенкой, ограничивающей газовое пространство резервуара;

Q_3 -количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ от теплообмена с крышей резервуара;

Q_4 -количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ от теплообмена с паровоздушной средой газового пространства резервуара;

Q_5 -количество тепла, затрачиваемого на изменение внутренней энергии (повышение температуры) поверхностного слоя ЛВЖ;

Q_6 -количество тепла, теряемого на испарение ЛВЖ;

Q_7 -количество тепла, передаваемого от поверхностного слоя ЛВЖ к нижележащим слоям ЛВЖ посредством теплопроводности;

Q_8 -количество тепла, отдаваемого от поверхностного слоя ЛВЖ основной массе ЛВЖ путем частичного смешивания;

Q_9 -количество тепла, отдаваемого от поверхностного слоя ЛВЖ в окружающий воздух

Количество тепла, подводимого к поверхностному слою ЛВЖ

1) Количество тепла, выносимое на поверхность ЛВЖ пограничным всплывающим тепловым слоем ЛВЖ от теплообмена с облучаемой стенкой, которая контактирует с ЛВЖ, определяют в следующей последовательности:

– коэффициент облученности для элементарной площадки облучаемой стенки, контактирующей с ЛВЖ (рис. 5):

$$\varphi_1 = \varphi_{\text{н}} \exp \left[6,88(0,5h_{\text{ж}}/h_{\text{р}} - 1) \exp(-2,44y_2/x_2) \right]; \quad (13)$$

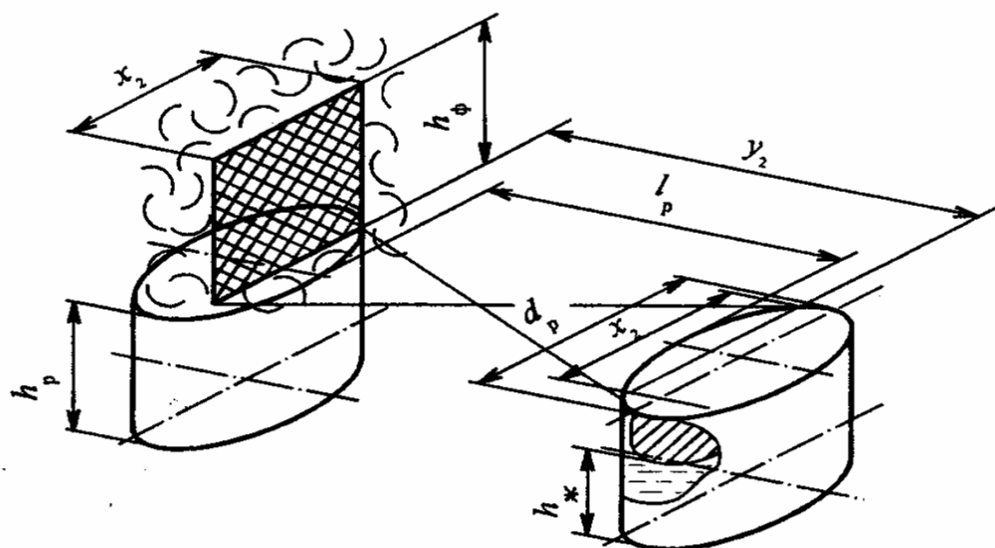


Рис. 5. Расчетная схема:

h_p - высота РВС; $h_{\text{ж}}$ - уровень взлива ЛВЖ; d_p - диаметр РВС; l_p - расстояние между РВС; $h_{\text{ф}}$ - высота факела; y_2 - расчетное расстояние между пламенем и облучаемой площадкой с учетом фактора видимости; x_2 - расчетная ширина с учетом фактора видимости

– вспомогательные величины, необходимые для расчета коэффициента облученности, определяют по формулам

$$x_2 = \frac{d_p \sqrt{l_p(l_p + 2d_p)}}{l_p + d_p}; \quad (14)$$

$$y_2 = \frac{l_p(l_p + 2d_p)}{l_p + d_p}; \quad (15)$$

– площадь облучаемой стенки резервуара, m^2 , ограничивающей жидкость,

$$f_1 = x_2 h_{ж}; \quad (16)$$

– количество тепла, выносимое на поверхность ЛВЖ вдоль нагретой стенки пограничным всплывающим тепловым слоем, в единицу времени, Вт

$$Q_1 = 0,86 q_{\phi} \phi_1 f_1. \quad (17)$$

2) Количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ при теплообмене с облучаемой стенкой, ограничивающей газовое пространство, определяют в следующей последовательности:

– коэффициент облученности для элементарной площадки облучаемой стенки, ограничивающей газовое пространство резервуара (см. рис. 5),

$$\varphi_2 = \varphi_H \exp \left[3,44(h_{ж}/h_p - 1) \exp(-2,44y_2/x_2) \right]; \quad (18)$$

– площадь облучаемой стенки резервуара, m^2 , ограничивающей газовое пространство,

$$f_2 = x_2(h_p - h_{ж}); \quad (19)$$

– количество тепла, получаемое поверхностным слоем ЛВЖ при теплообмене с облучаемой стенкой, в единицу времени, Вт

$$Q_2 = 0,47 q_{\phi} \phi_2 f_2. \quad (20)$$

3) Количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ при теплообмене с крышей облучаемого резервуара, в единицу времени определяют в следующей последовательности:

– коэффициент облученности для элементарной площадки облучаемой крыши резервуара (см. рис. 5)

$$\varphi_3 = \frac{1}{\pi} \left(\arcsin \frac{1}{\sqrt{1+B_2^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+C_2^2}} \arcsin \frac{1}{\sqrt{1+C_2^2}} \right); \quad (21)$$

вспомогательные величины B_2 и C_2 рассчитывают по формулам

$$B_2 = \frac{y_2 + d_p + l_p}{x_2}; \quad (22)$$

$$C_2 = \frac{2h_\Phi}{x_2}; \quad (23)$$

– площадь крыши резервуара принимают равной площади поверхности зеркала испарения ЛВЖ, м²,

$$f_3 = f_{\text{ж}} = \frac{\pi d_p^2}{4}; \quad (24)$$

– количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ от теплообмена с крышей облучаемого резервуара, в единицу времени, Вт

$$Q_3 = 0,28 q_\Phi \varphi_3 f_3. \quad (25)$$

Температура поверхностного слоя ЛВЖ

Температуру поверхностного слоя ЛВЖ, °С, через t , с, облучения определяют по формуле

$$t_{\text{п.сл}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\alpha_{\text{пр}} f_3} \left[1 - \exp \left(- \frac{\alpha_{\text{пр}} t}{c_{\text{п}} \rho_{\text{п}} (h_{\text{п}} - h_{\text{ж}}) + c_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} \delta_{\text{ж}}} \right) \right] + t_{\text{ж}}, \quad (26)$$

где $c_{\text{п}}$ – теплоемкость паровоздушной смеси, Дж*кг⁻¹*К⁻¹. При отсутствии справочных данных допускается принимать $c_{\text{п}} = 1010$ Дж*кг⁻¹*К⁻¹;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность паровоздушной смеси, кг*м⁻³. При отсутствии справочных данных допускается принимать $\rho_{\text{п}} = 1,21$ кг*м⁻³;

$c_{\text{ж}}$ – теплоемкость ЛВЖ, Дж*кг⁻¹*К⁻¹. При отсутствии справочных данных допускается принимать $c_{\text{ж}} = 2000$ Дж*кг⁻¹*К⁻¹;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность ЛВЖ, кг*м⁻³;

$t_{\text{ж}}$ – температура основной массы ЛВЖ в резервуаре, °С;

h_p – высота резервуара, м;

$h_{ж}$ – уровень разлива ЛВЖ в резервуаре, м.

По результатам экспериментальных исследований среднее значение приведенного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{пр}$ составило $33,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$, а характерная толщина теплового поверхностного слоя $\delta_{ж} = 0,053 \text{ м}$.

Способы и приемы противопожарной защиты резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром

1. Применение систем водяного орошения резервуаров.
2. Увеличение расстояний между резервуарами.
2. Создание условий для быстрой локализации и ликвидации пожара.

Вопросы и задания

1. Записать название работы, а также постановку задачи, на решение которой направлено выполнение данной работы.

2. Изучить и изложить основные параметры, характеризующие пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром.

3. Изучить порядок выполнения работы и произвести расчеты параметров, характеризующие пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром.

4. Обсудить результаты расчета параметров, характеризующих пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром.

5. Изучить требования пожарной безопасности, обеспечивающие повышение устойчивости к развитию пожара технологии хранения ЛВЖ в резервуарах, изложенные в приложении Б: «Требования пожарной безопасности, направленные на повышение устойчивости к пожару объектов хранения больших масс ЛВЖ и ГЖ. Извлечения из «Рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения, расположенных на селитебной территории».

6. По указанию преподавателя разработать схему и описание технического решения, обеспечивающего защиту от распространения пожара.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить исходные данные по следующей форме:

Сведения о горящем резервуаре:

– диаметр, $d_p =$ _____ м; высота, $h_p =$ _____ м;

– наименование ЛВЖ – _____

Сведения о резервуаре, расположенном рядом с горящим резервуаром:

– диаметр, $d_p =$ _____ м; высота, $h_p =$ _____ м.

– толщина стенки верхнего пояса резервуара, $\delta_w =$ _____ м;

– расстояние между резервуарами, $l_p =$ _____ м;

– наименование ЛВЖ _____

– плотность ЛВЖ, $\rho_{ж} =$ _____ кг*м-3;

– уровень разлива ЛВЖ в резервуаре, $h_{ж} =$ _____ м;

– температура окружающей среды, $t_f =$ _____ оС;

– температура основной массы, ЛВЖ, $t_{ж} =$ _____ оС;

– температурные пределы распространения пламени: нижний $t_{нип} =$ _____ оС, верхний $t_{вп} =$ _____ оС;

– температура самовоспламенения, $t_{св} =$ _____ оС.

2. Рассчитать параметры, характеризующие пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром, по следующему алгоритму:

2.1. Термические и геометрические параметры факела пожара:

– максимальная среднеповерхностная плотность излучения (формула (2));

– высота факела пламени (формула (3)).

2.2. Температура локального участка стенки резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром:

В начале выполняется расчетная схема, приведенная на рис. 3.

I – этап расчета. Падающий тепловой поток определяют на основании расчетной схемы по следующему алгоритму:

- вспомогательные величины: x_1 ; y_1 ; B_1 ; C_1 (формулы 7; 8; 5; 6);
- коэффициент облученности (формула (4));
- плотность падающего теплового потока (формула (3)).

II – этап расчета. Возможность и продолжительность нагрева элемента конструкции до температуры самовоспламенения

– (формула (9)) – максимальная температура элемента конструкции резервуара.

Примечание. На этом этапе расчета могут быть два варианта продолжения расчета.

1) Если не выполняется условие (10), то расчет прекращают и делают заключение, руководствуясь, рис. 1 и комментариями к нему.

2) Если выполняется условие (10), то расчет продолжают.

- коэффициент теплоотдачи (формула 11);
- температура элемента конструкции через t , с, облучения (формула 12).
- результаты расчетов заносят в табл. 1.

Таблица 1 Параметры, характеризующие пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром

Температура, °С,	Продолжительность теплового воздействия, мин						
	1	2	3	5	10	15	20
элемента конструкции РВС							
поверхностного слоя ЛВЖ							

2.3. Температура поверхностного слоя ЛВЖ в РВС, расположенном рядом с горящим резервуаром.

В начале выполняется расчетная схема, приведенная на рис. 5.

I – этап расчета. Количество тепла, подводимого к поверхностному слою ЛВЖ определяют на основании расчетной схемы по следующему алгоритму:

1) Количество тепла, выносимое на поверхность ЛВЖ пограничным всплывающим тепловым слоем от теплообмена с облучаемой стенкой, которая контактирует с ЛВЖ, определяют в следующей последовательности:

- вспомогательные величины: x_2 ; y_2 (формулы (14); (15));
- коэффициент облученности (формула (13));
- площадь облучаемой стенки резервуара, ограничивающей ЛВЖ (формула (16));
- количество тепла, выносимое на поверхность ЛВЖ вдоль нагретой стенки пограничным всплывающим тепловым слоем (формула (17)).

2) Количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ при теплообмене с облучаемой стенкой, ограничивающей газовое пространство, определяют в следующей последовательности:

- коэффициент облученности (формула (18));
- площадь облучаемой стенки резервуара, ограничивающей газовое пространство (формула (19));
- количество тепла, получаемое поверхностным слоем ЛВЖ при теплообмене с облучаемой стенкой (формула (20)).

3) Количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ при теплообмене с крышей облучаемого резервуара, определяют в следующей последовательности:

- вспомогательные величины B_2 и C_2 (формулы (22); (23));
- коэффициент облученности (формула (21));
- площадь крыши резервуара (формула (24));
- количество тепла, получаемого поверхностным слоем ЛВЖ от теплообмена с крышей облучаемого резервуара (формула (25)).

II – этап расчета. Температура поверхностного слоя ЛВЖ.

– температура поверхностного слоя ЛВЖ через τ , с, облучения (формула 26);

– результаты последующих расчетов заносят в табл.1.

3. Построить график: «Изменение параметров, характеризующих пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром».

По оси абсцисс (рис. 6) откладывают шкалу «Продолжительность теплового воздействия, мин», а по оси ординат – шкалу «Температура, °С». На график наносят справочные значения $t_{св}$, $t_{нп}$ и $t_{вп}$.

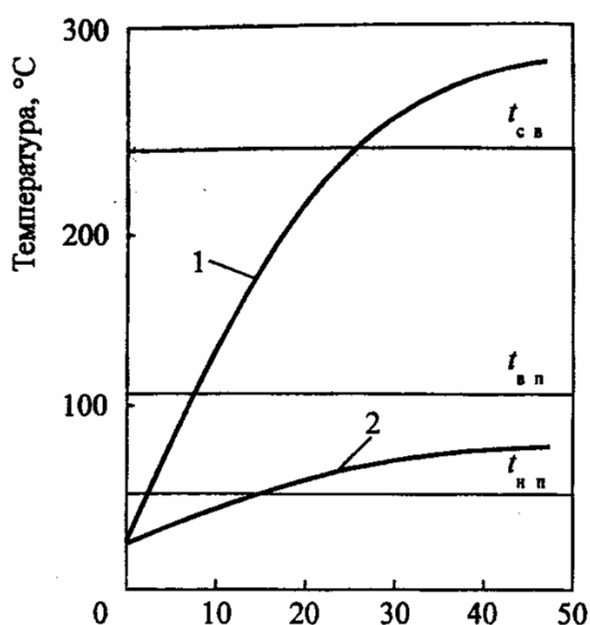


Рис. 6. Пример рисунка «Изменение параметров, характеризующих пожарную опасность распространения пожара на резервуар с ЛВЖ, расположенный рядом с горящим резервуаром»:

1 – температура элемента стенки; 2 – температура поверхностного слоя жидкости

По данным табл. 1 строят кривые, описывающие изменения температуры опасного элемента конструкции или оборудования резервуара, а также температуры поверхностного слоя ЛВЖ.

4. Обсуждение результатов расчета параметров, характеризующих пожарную опасность распространения пожара на резервуар, расположенный

рядом с горящим резервуаром» производят по результатам пересечения кривых со значениями показателей пожарной опасности ЛВЖ:

– продолжительность нахождения резервуара в устойчивом состоянии, которое характеризуется выполнением следующего неравенства

$$t_w \leq 0,8 t_{св}.$$

– опасность взрыва может наступить после τ , мин, облучения, если будут выполняться условия

$$\begin{aligned} t_{нп} &\leq t_{п.сч} \leq t_{вп}; \\ t_w &\geq 0,8 t_{св}; \end{aligned}$$

– возможность факельного горения в местах выхода паров из резервуара после τ , мин, и облучения, которая характеризуется выполнением следующих неравенств:

$$\begin{aligned} t_{п.сч} &> t_{вп}; \\ t_w &> 0,8 t_{св}. \end{aligned}$$

Исходные данные для решения задачи:

Сведения о горящем резервуаре РВС-300:

- диаметр, $d_p = 7,6$ м; высота, $h_p = 6,0$ м;
- наименование ЛВЖ – Октан;
- массовая скорость выгорания, $m_{выг} = 7,89 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Сведения о резервуаре РВС-300, расположенном рядом с горящим резервуаром:

- диаметр, $d_p = 7,6$ м; высота, $h_p = 6,0$ м;
- толщина стенки верхнего пояса резервуара, $\delta_w = 0,003$ м;
- расстояние между резервуарами, l_p , м;
- наименование ЛВЖ – Октан;
- плотность ЛВЖ, $\rho_{ж} = 702,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$;
- уровень взлива ЛВЖ в резервуаре, $h_{ж}$, м;
- температура окружающей среды, t_f , °C;
- температура основной массы ЛВЖ, $t_{ж} = 24$ °C;

– температура самовоспламенения, $t_{св} = 215\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вариант	l_p , м	$h_{ж}$, м	$t^{\circ}\text{C}$	$t_{ж}$, $^{\circ}\text{C}$
1	2,0	4,0	24	24
2	2,5	3,6	25	22
3	3,0	3,0	30	27
4	1,7	3,5	20	20
5	1,5	3,7	34	30
6	1,8	4,5	37	30
7	1,9	4,8	28	25
8	2,0	5,0	20	19
9	2,5	3,0	22	21
10	3,0	3,5	27	27

Ответьте на теоретические вопросы:

1. Какие параметры, характеризуют пожарную опасность распространения пожара на резервуар, расположенный рядом с горящим резервуаром?

2. Укажите условия, характеризующие устойчивое состояние технологической системы «РВС – ЛВЖ» к воздействию возмущающих факторов пожара.

3. Укажите условия, характеризующие возможность факельного горения паров, выходящих из дыхательного клапана резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром.

4. Укажите условия, характеризующие возможность взрыва внутри резервуара с ЛВЖ, расположенного рядом с горящим резервуаром.

5. Укажите конструктивные элементы резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром, которые могут быть нагреты до температуры самовоспламенения, и послужить источником зажигания взрывоопасной паровоздушной смеси.

6. Какие гидродинамические и тепловые потоки положены в основу формирования нагретого поверхностного слоя ЛВЖ в резервуаре, расположенном рядом с горящим резервуаром?

Практическое занятие 4

Пожарно-техническая характеристика объекта анализа пожарной опасности

Теоретическая часть

Для проведения анализа пожарной опасности технологической системы необходимо подготовить информационную базу.

Информационная база, как правило, включает в себя следующие блоки:

- технология процесса;
- конструкция и оборудование технологической системы;
- показатели пожаровзрывоопасности, обращающихся веществ и материалов;
- климатические и метеорологические параметры, воздействующие на систему;
- принятые технические решения, обеспечивающие противопожарную защиту технологической системы.

В практикуме в соответствии с ГОСТ Р 12.3. 047 – 98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» отрабатываются основные элементы изучения технологии и подготовки информационной базы для проведения анализа пожарной опасности.

Вопросы и задания

1. Подготовить для работы следующую литературу:

- Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- Справочник под редакцией А.Н. Баратова и А.Я. Корольченко «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения» (Справочное издание в 2 книгах. М., Химия, 1990),

– РД 34.21.122 – 87. «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений».

2. Записать название и цель работы, на решение которой направлено выполнение данной работы.

3. Изучить суть технологии, конструкцию и оборудование резервуара для хранения химических продуктов (приложение А).

4. Нарисовать схему конструкции резервуара с указанием оборудования, расположенного на нем.

5. Изучить по справочной литературе показатели пожаровзрывоопасности химического продукта и заполнить табл. 1.1.

6. Определить географическую широту расположения терминала химических продуктов.

7. Заполнить табл. 1.2 «Статистические данные по метеоусловиям региона».

8. Заполнить анкету технических решений, обеспечивающих противопожарную защиту резервуарной группы терминала химических продуктов.

Порядок выполнения работы

1. Технология процесса, конструкция и оборудование технологической системы. При изложении описания технологии привести краткие сведения о функциональном назначении химического терминала.

На схеме конструкции и оборудования резервуара указать его основные параметры: вместимость, диаметр, высоту, толщину стенки верхнего пояса.

2. ***Показатели пожаровзрывоопасности.*** Показатели пожаровзрывоопасности веществ и материалов в практической работе используют как для проведения анализа пожарной опасности технологических систем, так и для получения исходных данных при разработке систем по обеспечению пожарной безопасности взрывопожароопасных технологий.

Определение пожаровзрывоопасных свойств веществ и материалов производят по справочным данным, опубликованным головными научно-исследовательскими организациями в области пожарной безопасности или выданных Государственной службой стандартных справочных данных.

Рекомендации по пользованию справочником под редакцией А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения» (Справочное издание в 2 книгах.М., Химия, 1990).

– зависимость давления насыщенного пара от температуры в основном указана в виде уравнения Антуана. Расчетное уравнение позволяет определить давление насыщенного пара в кПа;

– для некоторых веществ теплота сгорания Q^* приведена в кДж/моль. Для перевода в размерность МДж/кг формула имеет вид

$$Q = \frac{Q^*}{M} \quad \text{где } M - \text{молярная масса.}$$

Основные показатели пожаровзрывоопасных свойств ЛВЖ заносят в табл.1.1.

Таблица 1.1 Показатели пожаровзрывоопасности__

(наименование ЛВЖ) Наименование показателя	Значение
Молярная масса	
Плотность ЛВЖ, кг/м ³	
Температура вспышки, °С	
Температура самовоспламенения, °С	
Температурные пределы распространения пламени, °С: нижний верхний	
Концентрационные пределы распространения пламени, % (об.): нижний верхний	
Константы уравнения Антуана:	$A_A = \underline{\hspace{2cm}}$ $B_A = \underline{\hspace{2cm}}$ $C_A = \underline{\hspace{2cm}}$
Теплота сгорания, МДж/кг	
Массовая скорость выгорания, кг*м ⁻² *с ⁻¹	
Средства тушения	

При отсутствии некоторых справочных данных о показателях пожаровзрывоопасности, в табл. 1.1, делают прочерк.

3. Климатические параметры.

Концентрация паров в резервуаре, которая обуславливает состояние взрывоопасности резервуара, зависит от теплового режима резервуара. Источником существенных тепловых изменений, происходящих в резервуаре, являются метеоусловия региона.

Район расположения склада ЛВЖ и ГЖ принимают по прил. 1.

Географическая широта региона $\psi = \text{_____}^\circ$;

Значения среднемесячной температуры воздуха и максимальной амплитуды колебаний температуры окружающего воздуха для регионов России приведены в СНиП 23 – 01 – 99. «Строительная климатология».

При отсутствии СНиП 23 – 01 – 99. «Строительная климатология» допускается определять значения среднемесячной температуры воздуха по табл. 1 СНиП 2.01.01 – 82 «Строительная климатология и геофизика», а значения максимальной амплитуды колебаний температуры окружающего воздуха по табл. 2. СНиП 2.01.01 – 82.

Результаты определения среднемесячной температуры воздуха и максимальной амплитуды колебаний температуры окружающего воздуха заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.2 Статистические данные по метеоусловиям региона

Температура воздуха, °С	Порядковый номер месяца года											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Среднемесячная												
Максимальная амплитуда												

Число безоблачных дней в июле месяце, $N_{с.дн} = \text{_____}$. (см. приложение 1).

5. Обязательные и добровольные требования пожарной безопасности

Таблица 1.3. Обязательные и добровольные требования пожарной безопасности

№ п/п	Направление защиты	№ пункта	Количественная характеристика
1	Категория склада по ФЗ N 123-ФЗ		
2	Противопожарное расстояния до соседних объектов по ФЗ № 123-ФЗ		
3	Противопожарное расстояния между резервуарами		
4	Ограничение разлива жидкости (защитное обвалование)		
5	Противопожарное водоснабжение		
6	Системы пожаротушения резервуаров		
7	Системы водяного орошения резервуаров		
8	Система молниезащиты резервуаров - тип зоны защиты - категория молниезащиты	Табл. 1. Пункт 3. РД 34.21.122 – 87.	

Здесь требуется указать в анкете технических решений конкретные значения нормативных требований применительно к резервуарной группе по заданию.

Ответьте на теоретические вопросы:

1. Укажите основные блоки информационной базы для проведения анализа пожарной опасности технологической системы.

2. Укажите основное оборудование, которое устанавливается на резервуаре.

3. Назначение дыхательного клапана и принцип его работы.

5. Укажите основные источники информации, по которым допускается определять пожаровзрывоопасные свойства веществ и материалов.

6. Область применения показателя пожаровзрывоопасности «температура вспышки».

7. Область применения показателя пожаровзрывоопасности «температура самовоспламенения».

8. Область применения показателя пожаровзрывоопасности «концентрационные пределы распространения пламени».

9. Область применения показателя пожаровзрывоопасности «минимальная флегматизирующая концентрация».

Терминал химических продуктов предназначен для приема, хранения и отгрузки жидких химических продуктов по схеме – технологическая установка – насос – резервуар – насос – цистерна. Перечень хранимых продуктов на терминале приведен в табл. А.1.

Таблица А.1 Перечень хранимых продуктов на терминале

Наименование хранимого химического продукта № п/п	Наименование	№ п/п	Наименование
1	Бутилацетат	16	Этилбензол
2	Бутилметилкетон	17	Этилбутират
3	Пропиловый спирт	18	Толуол
4	Этиловый спирт	19	Метанол
5	Изобутилметилкетон	20	Метилбутират
6	Растворитель РМЛ	21	Октан
7	Изобутилформиат	22	Пропиловый спирт
8	Изопропилацетат	23	Метиловый спирт
9	Изопропиловый спирт	24	3,3-Диметилгептан
10	Этанол	25	2,3-Диметилгексан
11	Изобутилметилкетон	26	Изобутилформиат
12	Ксилол (смесь изомеров)	27	Бутилформиат
13	Метилбутират	28	Аллиловый спирт
14	Метиловый спирт	29	Изооктан
15	Аллиловый спирт	30	Изобутиловый спирт

В основу проекта положены следующие технические решения:

- хранение химических продуктов в резервуарном парке (Номенклатура резервуаров со стационарной крышей для хранения химических продуктов приведена в табл. А.2);
- отгрузка химических продуктов в железнодорожные цистерны;
- после окончания проведения операции налива продукта в железнодорожные цистерны производится продувка технологической линии (насос – трубопровод) азотом.

Таблица А.2 Номенклатура стальных вертикальных резервуаров со стационарной крышей

Вариант	Номинальная вместимость, м ³	Размеры резервуара, м		Толщина стенки верхнего пояса, мм
		диаметр	высота	
1-5	100	4,7	6,0	3
6-10	200	6,6	6,0	3
11-15	300	7,6	7,5	3
16-20	400	8,5	7,5	3
21-25	700	10,4	9,0	3
26-30	1000	10,4	12,0	4

2. Конструкция и оборудование резервуара

Для хранения химических продуктов применяют в стальные вертикальные цилиндрические резервуары (РВС) (рис.А.1).



Схема расположения оборудования на резервуаре приведена на рис. А.2.

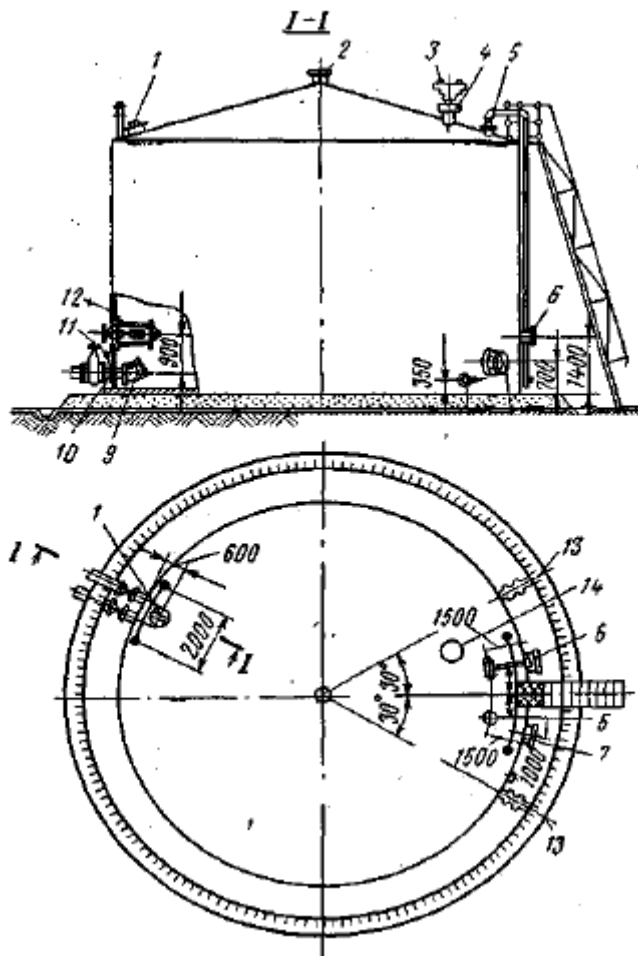


Рис. А.2. Схема расположения оборудования на вертикальных резервуарах:

1 – световой люк; 2 – вентиляционный патрубок; 3 – дыхательный клапан; 4 – огневой предохранитель; 5 – замерный люк; 6 – прибор для замера уровня;

7 – люк-лаз; 8 – сифонный кран; 9 – хлопушка; 10 – приемо-раздаточный патрубок; 11 – перепускное устройство;

12 – узел управления хлопушкой; 13 – крайнее положение приемо-раздаточных патрубков по отношению к оси лестницы; 14 – предохранительный клапан.

Дыхательный клапан (рис. А.3) предназначен для сокращения потерь продуктов от испарения в резервуаре. Исходя из условия прочности и устойчивости конструкции резервуаров дыхательные клапаны рассчитаны на давление 200 мм вод.ст. и вакуум 25 мм вод. ст.

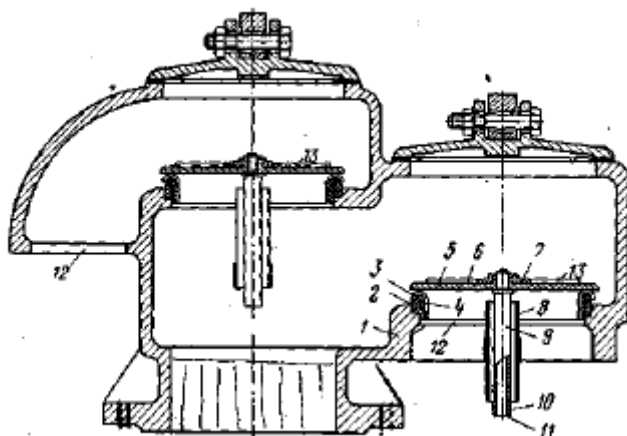


Рис. А.3. Дыхательный клапан:

1 – корпус; 2 – кольцо;
 3 – седло; 4 – покрытие (фторопласт-4); 5 – тарелка;
 6 – пленка (фторопласт-4); 7 – прижимная гайка;
 8 – направляющая фторопластовая трубка; 9 – шток; 10 – пленка (фторопласт-4); 11 – стержень; 12 – сетка; 13 – грузы

Предохранительные клапаны предназначены для дублирования работы дыхательных клапанов в случае выхода их из строя.

Указатель уровня (рис. (А.4) используют для измерения уровня жидкости в резервуаре. Указатели бывают как с местным отсчетом уровня, так и с дистанционной приставкой для передачи показаний в диспетчерский пункт.

Поплавок 10 (рис. А.4), подвешенный на перфорированной мерной ленте 9, при движении скользит вдоль направляющих струн 8, жестко закрепленных на дне резервуара и натянутых при помощи устройств 7, установленных на крыше выходного патрубка, Лента по роликам 6 проходит через гидрозатвор 5 и вступает в зацепление с мерным шкивом 4, перемещение которого от ленты передается на счетчик. Показания счетчика соответствуют жидкости в резервуаре.

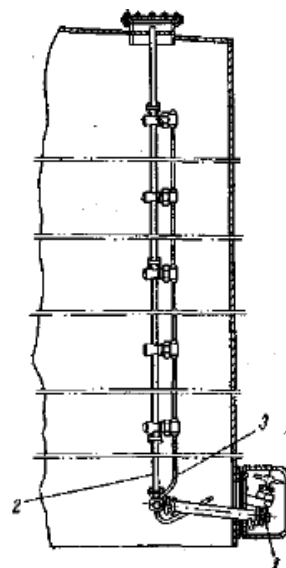
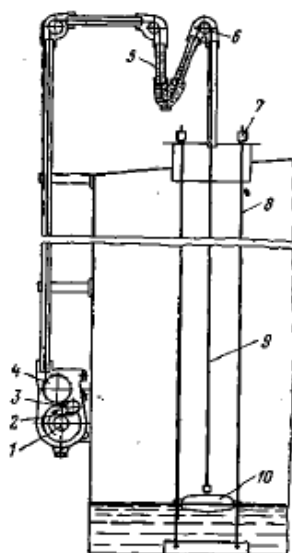


Рис. А.4 - Схема установки указателя уровня УДУ-5 Рис. А.5. Пробоотборник ПСР-4

Пробоотборник применяют для полуавтоматического отбора проб по всей высоте налитой в резервуар жидкости и слива пробы у основания резервуара.

Пробоотборник ПСР-4 (рис. А.5) состоит из пробоотборной колонны и узла 1 слива пробы. Для отбора пробы жидкости в пневмосистеме при помощи ручного насоса создают давление, равное 3 кгс/см². При этом открываются все клапаны на секциях пробоотборной колонны и жидкость поступает в колонну.

После ее заполнения давление в системе снижают до нуля с помощью клапана сброса давления. Клапаны закрываются, и столб жидкости отсекается от основной массы жидкости. После этого, нажимая на рукоятку клапана слива пробы, жидкость сливают в пробоотборную посуду.

Приемо-раздаточные патрубки используют для проведения операций по заполнению и опорожнению резервуара. Приемо-раздаточные патрубки внутри резервуара оборудованы хлопушками с перепуском, которые препятствуют самопроизвольному истечению жидкости из резервуаров (рис. А.6). Открытие хлопушки осуществляют при помощи специального электроприводного устройства управления хлопушками во

Technical drawing of a mechanical assembly, likely a pump or valve mechanism, showing a cross-section and a side view. The cross-section includes dimensions: 300, 140, 170, 100, 120, 140, 160, 180, 100, 120, 140, 160, 180, 100, 120, 140, 160, 180. The side view shows a curved component 10 and a lever arm 7.

1 – стопор; 2 – втулка сальника; 3 – сальниковая набивка; 4 – корпус сальника; 5 – вал подъемника; 6 – барабан; 7 – трос подъемника; 8 – запасной трос; 9 – хлопушка; 10 – перепускное устройство; 11 – штурвал

Люк - лаз предназначен для доступа внутрь резервуара рабочих для ремонта и зачистки скопившейся на дне грязи и для вентиляции резервуара перед проведением огневых работ. Диаметр его принимается обычно равным 500 мм.

Водоспускной кран (рис. А.7) служит для периодического удаления подтоварной воды, собирающейся над днищем резервуара.

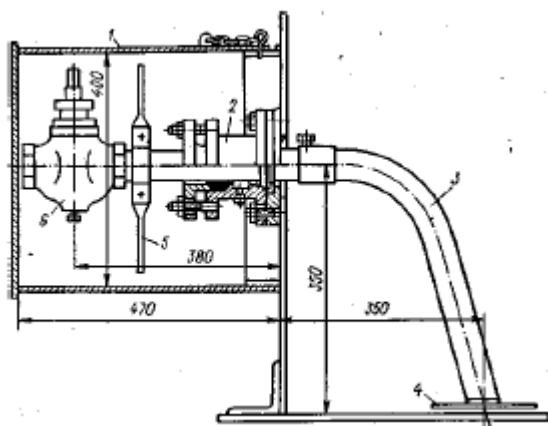


Рис. А.7. Водоспускной сифонный кран:

1 – защитный чехол; 2 –сальниковое уплотнение; 3 – патрубок; 4 – защитная диафрагма; 5 – поворотная ручка; 6 – пробковый кран

3. Район расположения терминала

Таблица А.3

№ п/п	Район расположения терминала	Число безоблачных дней в июле	№ п/п	Район расположения терминала	Число безоблачных дней в июле
1	Уфа	25	16	Оренбург	28
2	Архангельск	18	17	Пенза	26
3	Санкт-Петербург	19	18	Махачкала	28
4	Москва	23	19	Новосибирск	22
5	Владивосток	25	20	Калининград	21
6	Псков	21	21	Элиста	27
7	Тюмень	25	22	Кострома	23
8	Казань	24	23	Кемерово	25
9	Иркутск	23	24	Киров	21
10	Воронеж	25	25	Сыктывкар	20
11	Барнаул	27	26	Красноярск	25
12	Улан-Удэ	26	27	Краснодар	28
13	Курск	23	28	Новороссийск	27
14	Челябинск	24	29	Астрахань	29
15	Саратов	27	30	Благовещенск	21

Практическое занятие 5

Оценка последствий взрыва расширяющихся паров вскипающей жидкости

Теоретическая часть

При попадании замкнутого резервуара со сжиженным газом или жидкостью в очаг пожара может происходить нагрев содержимого резервуара до температуры, существенно превышающей нормальную температуру кипения, с соответствующим повышением давления. За счет нагрева несмоченных стенок сосуда уменьшается предел прочности их материала, в результате чего при определенных условиях оказывается возможным разрыв резервуара с возникновением волн давления и образованием «огненного шара». Порядок расчета параметров волн давления изложен ниже.

Разрыв резервуара в очаге пожара с образованием волн давления получил название BLEVE (BoilingLiquidExpandingVapourExplosion — взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости).

Возможность возникновения BLEVE для конкретного вещества, хранящегося в замкнутой емкости, определяют следующим образом.

1 Рассчитывают δ по формуле

$$\delta = C_p (T - T_{кин}) / L, \quad (1)$$

где C_p — удельная теплоемкость жидкой фазы, Дж/кг;

T — температура жидкой фазы, соответствующая температуре насыщенного пара при давлении срабатывания предохранительного клапана, К;

$T_{кин}$ — температура кипения вещества при нормальном давлении, К;

L — удельная теплота испарения при нормальной температуре кипения $T_{кин}$, Дж/кг.

2. Если $\delta < 0,35$, BLEVE не происходит. При $\delta \geq 0,35$ вероятность

возникновения данного явления велика.

Параметрами волны давления, образующейся при BLEVE, являются избыточное давление в положительной фазе волны Δp и безразмерный импульс положительной фазы волны i .

Δp , кПа, и i , Па·с, рассчитывают по формулам:

$$\Delta p = p_0 (0,8 m_{np}^{0,33} / r + 3 m_{np}^{0,66} / r^2 + 5 m_{np} / r^3), \quad (2)$$

$$i = 123 m_{np}^{0,66} / r, \quad (3)$$

где p_0 — атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

r — расстояние до разрушающегося технологического оборудования, м;

m_{np} — приведенная масса, кг, рассчитанная по формуле

$$m_{np} = E_{из} / Q_0, \quad (4)$$

где $E_{из}$ — энергия, выделяющаяся при изэнтропическом расширении среды, находящейся в резервуаре, Дж;

Q_0 — константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг.

$E_{из}$, Дж, рассчитывают по формуле

$$E_{из} = C_{эфф} m (T - T_{кин}). \quad (5)$$

где m — масса вещества в резервуаре, кг;

$C_{эфф}$ — константа, равная 500 Дж/(кг·К);

T — температура вещества в резервуаре в момент его взрыва, К;

$T_{кин}$ — температура кипения вещества при атмосферном давлении, К.

При наличии в резервуаре предохранительного клапана T , К, допускается рассчитывать по формуле

$$T = \frac{B}{A - \lg p_k} - C_a + 273,15, \quad (6)$$

где A , B , C_a — константы Антуана вещества;

p_k — давление срабатывания предохранительного клапана, кПа.

Константа A должна соответствовать давлению, выраженному в килопаскалях.

Вопросы и задания

1. Оценить возможность возникновения BLEVE для ацетона, бензина, этиленгликоля и нитробензола, если давление срабатывания предохранительного клапана $p_k = 1,8$ кПа

2. Рассчитать параметры положительной фазы волны давления на расстоянии r от эпицентра аварии, связанной с развитием BLEVE на железнодорожной цистерне вместимостью 50 м^3 с массой $m = 40000$ кг жидкого пропана. Цистерна имеет предохранительный клапан на давление срабатывания $P_k = 2,0$ МПа. Расстояние до разрушающегося технологического оборудования $r = 500$ м. Температура кипения вещества при атмосферном давлении $T_{кип} = 231,1$ К. Удельная теплота испарения при нормальной температуре кипения $L = 378,9$ кДж/кг. Константы Антуана для пропана: $A = 5,949$; $B = 812,648$; $C_a = 247,55$. Общие константы: $Q_0 = 4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; $C_{эфф} = 500$ Дж/(кг · К).

Таблица 1 - Справочные данные об удельной теплоемкости жидких веществ при 20°C

Название	$C_{pж}$ кДж/(кг °C)	Название	$C_{pж}$ кДж/(кг °C)
Ацетон	2,22	Масло минеральное	1,67...2,01
Бензин	2,09	Масло смазочное	1,67
Бензол (10°C)	1,42	Метиленхлорид	1,13
(40°C)	1,77	Метил хлорид	1,59
Вода чистая (0°C)	4,218	Морская вода (18°C)	
(10°C)	4,192	0,5% соля	4,10
(20°C)	4,182	3% соля	3,93
(40°C)	4,178	6% соли	3,78
(60°C)	4,184	Нефть	0,88
(80°C)	4,196	Нитробензол	1,47
(100°C)	4,216	Парафин жидкий	2,13
Глицерин	2,43	<u>Рассол</u> (-10°C)	
Гудрон	2,09	20% соли	3,06

Деготь каменноугольный	2,09	30% соли	2,64...2,72
Дифенил	2,13	Ртуть	0,138
Довтерм	1,55	Скипидар	1,80
Керосин бытовой	1,88	Спирт метиловый (метанол)	2,47
Керосин бытовой (100°С)	2,01	Спирт нашатырный	4,73
Керосин тяжелый	2,09	Спирт этиловый (этанол)	2,39
Кислота азотная 100%-я	3,10	Толуол	1,72
Кислота серная 100%-я	1,34	Трихлорэтилен	0,93
Кислота соляная 17%-я	1,93	Хлороформ	1,00
Кислота угольная (-190°С)	0,88	Этиленгликоль	2,30
Клей столярный	4,19	Эфир кремниевой кислоты	1,47

Удельная теплоемкость некоторых углеводородов

Сжиженный газ	Температура, °С	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)
Метан	-95,1	5,477
Этан	-93,1	2,990
Этилен	-103,1	2,415
Пропан	-42,1	2,230
Пропилен	-62,8	2,150

Таблица – Константы Ануана некоторых веществ

Наименование	Формула	Изображение	А	В	С
этиленгликоль	$C_2H_6O_2$		20,2501	6022,18	-28,25
ацетон	C_3H_6O		16,6513	2940,46	-35,93
нитробензол	C_6H_5N		16,0676	3295,12	-55,60
бензол	C_6H_6		15,9008	2788,51	-52,36

Практическое занятие 6

Расчет параметров воспламенения горючих пылей

Теоретическая часть

Характеристики сгорания пылепаровоздушных смесей в технологическом аппарате

Сгорание пылевоздушной смеси в аппарате может протекать как в режиме медленного, дозвукового горения, так и в режиме детонации. В подавляющем большинстве практических случаев встречается медленный (дефлаграционный) режим горения.

Основными расчетными (в предположении достаточной стойкости корпуса аппарата к напряжениям разрыва и деформации) характеристиками взрыва пылевоздушных смесей в аппарате считают:

- p_{max} — максимальное давление при сгорании пылевоздушной смеси в аппарате, кПа, определяемое как наибольшее давление при сгорании, достигаемое в объеме аппарата при взрывном горении оптимальной пылевоздушной смеси;

- $(dp/dt)_{max}$ — максимальную скорость нарастания давления при сгорании пылевоздушной смеси в аппарате, кПа/с, определяемую как наибольший наклон зависимости давления при сгорании оптимальной пылевоздушной смеси в аппарате от времени при точечном зажигании в оптимальном месте;

- K_{st} — индекс взрывопожароопасности пыли, кПа/м · с; $K_{st} = (dp/dt)_{max} V^{1/3}$ (V — объем аппарата, м³).

Для не слишком протяженных технологических аппаратов объемом свыше 16 л справедливы эмпирические правила, в соответствии с которыми:

$$p_{max1} = p_{max2}; \quad (1)$$

$$K_{st1} = K_{st2},$$

где 1,2 — индексы, относящиеся к двум произвольно выбранным аппаратам.

Для аппарата объемом менее 16 л расчетные значения характеристик сгорания пылевоздушных смесей (по результатам испытаний в крупномасштабной емкости) обладают достаточным запасом надежности.

Оценка расчетных значений параметров сгорания пылевоздушных смесей для протяженных аппаратов (с отношением максимального габаритного размера к минимальному порядка 5 и более), а также горения, протекающего в режиме детонации, возможна на основе экспертных заключений.

Расчет избыточного давления при сгорании пылевоздушной смеси в помещении

Избыточное давление при сгорании пылевоздушной смеси Δp , кПа, рассчитывают по формуле

$$\Delta p = \frac{MH_m p_0 Z}{V_{св} \rho_{в} C_p T_0 K_n}, \quad (2)$$

где M — расчетная масса взвешенной в объеме помещения горючей пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации, кг (определяется по формуле (4));

H_m — теплота сгорания пыли, Дж/кг;

P_0 — начальное атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

Z — доля участия взвешенной горючей пыли при сгорании пылевоздушной смеси;

Z рассчитывают по формуле

$$Z = 0,5F, \quad (3)$$

где F — массовая доля частиц пыли размером менее критического, с превышением которого аэрозвесь становится взрывобезопасной, т. е. неспособной распространять пламя.

В отсутствие возможности получения сведений для расчета Z допускается принимать $Z = 0,5$.

$V_{св}$ — свободный объем помещения, м³;

$\rho_{в}$ — плотность воздуха до сгорания пылевоздушной смеси при

начальной температуре T_0 , кг/м³;

C_p — теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К) [допускается принимать равной 1010 Дж/(кг·К)];

T_0 — начальная температура воздуха, К;

K_n — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения.

Допускается принимать K_n равным трем.

К пылям, способным образовывать горючие пылевоздушные смеси, относят дисперсные материалы, характеризующиеся наличием показателей пожарной опасности: нижним концентрационным пределом распространения пламени, максимальным давлением, развиваемым при сгорании пылевоздушной смеси (более 50 кПа), и скоростью его нарастания, минимальным пожароопасным содержанием кислорода (менее 21 %).

Расчетная масса взвешенной в объеме помещения горючей пыли, образовавшейся в результате аварийной ситуации M , кг, рассчитывают по формуле

$$M = \min \left\{ \begin{array}{l} M_{\text{вз}} + M_{\text{ав}}; \\ \rho_{\text{см}} V_{\text{ав}} / Z, \end{array} \right. \quad (4)$$

где $M_{\text{вз}}$ — расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;

$M_{\text{ав}}$ — расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг;

$\rho_{\text{см}}$ — стехиометрическая концентрация горючей пыли в аэровзвеси, кг/м³;

$V_{\text{ав}}$ — расчетный объем пылевоздушного облака, образованного при аварийной ситуации в объеме помещения, м³.

В отсутствие возможности получения сведений для расчета $V_{\text{ав}}$ допускается принимать

$$M = M_{\text{вз}} + M_{\text{ав}}.$$

Расчетная масса взвихрившейся пыли $M_{\text{вз}}$ кг рассчитывают по формуле

$$M_{\text{вз}} = K_{\text{вз}} M_n, \quad (5)$$

где $K_{\text{вз}}$ — доля отложенной в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации. В отсутствие экспериментальных сведений о $K_{\text{вз}}$ допускается полагать $K_{\text{вз}} = 0,9$;

M_n — масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии, кг.

Расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации $M_{\text{ав}}$, кг рассчитывают по формуле

$$M_{\text{ав}} = (M_{\text{ан}} + qT) K_n, \quad (6)$$

где $M_{\text{ан}}$ — масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение при разгерметизации одного из технологических аппаратов, кг. При отсутствии ограничивающих выброс пыли инженерных устройств следует полагать, что в момент расчетной аварии происходит аварийный выброс в помещение всей находившейся в аппарате пыли;

q — производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения, кг/с;

T — расчетное время отключения, определяемое в каждом конкретном случае, исходя из реальной обстановки. Следует принимать равным времени срабатывания системы автоматики, если вероятность ее отказа не превышает 0,000001 в год; 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год; 300 с при ручном отключении;

K_n — коэффициент пыления, представляющий отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата в помещение. В отсутствие экспериментальных сведений о K_n допускается полагать:

- $K_n = 0,5$ — для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм;
- $K_n = 1,0$ — для пылей с дисперсностью менее 350 мкм.

Масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии M_n , кг рассчитывают по формуле

$$M_n = \frac{K_c}{K_y} (M_1 + M_2) \quad (7)$$

где K_z — доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;

K_y — коэффициент эффективности пылеуборки. Принимают равным 0,6 при сухой и 0,7 — при влажной (ручной) пылеуборке; при механизированной вакуумной пылеуборке для ровного пола K_y принимается равным 0,9, для пола с выбоинами (до 5 % площади) — 0,7;

M_1 — масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между генеральными уборками, кг;

M_2 — масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между текущими пылеуборками, кг.

Под труднодоступными для уборки площадями подразумевают такие поверхности в производственных помещениях, очистка которых осуществляется только при генеральных пылеуборках. Доступными для уборки местами являются поверхности, пыль с которых удаляется в процессе текущих пылеуборок (ежесменно, ежесуточно и т.п.).

M_k ($k = 1, 2$) рассчитывают по формулам

$$M_1 = M'_1(1-A)B_1, \quad M_2 = M'_2(1-A)B_2, \quad (8)$$

где $M'_1 = (M_{11} + M_{12} + \dots + M_{1n})$ — масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между генеральными пылеуборками, кг;

$M_{11}, \dots, M_{1n}$ — масса пыли, выделяемая соответствующей единицей пылящего оборудования за тот же период времени, кг;

$M'_2 = (M_{21} + M_{22} + \dots + M_{2n})$ — масса пыли, выделяющаяся в объем помещения за период времени между текущими пылеуборками, кг;

$M_{21}, \dots, M_{2n}$ — масса пыли, выделяемая соответствующей единицей пылящего оборудования за тот же период времени, кг;

A — доля выделяющейся в объем помещения пыли, которая удаляется вытяжными вентиляционными системами. В отсутствие экспериментальных сведений об A полагают $A = 0$;

B_1, B_2 — доли выделяющейся в объем помещения пыли, оседающей соответственно на труднодоступных и доступных для уборки поверхностях помещения ($B_1 + B_2 = 1$).

При отсутствии сведений о коэффициентах B_1 и B_2 допускается полагать $B_1 = 1, B_2 = 0$.

M_1 и M_2 могут быть определены экспериментально (или по аналогии с действующими образцами производства) в период максимальной загрузки оборудования по формуле

$$M_i = \sum_j (G_{ij} F_{ij}) T_i, \quad (9)$$

где G_{ij}, F_{ij} — соответственно интенсивность пылеосаждения и площадь для труднодоступных ($i = 1$) и доступных ($i = 2$) участков;

j — номер участка пылеосаждения;

T_i — промежуток времени между генеральными ($i = 1$) и текущими ($i = 2$) пылеуборками.

Вопросы и задания

1. Определить массу взвешенной в объеме помещения горючей пыли, образовавшейся при аварийной разгерметизации аппарата, содержащего M_{an} , кг полиэтиленовой пыли дисперсностью 200 мкм. При расчетах учитывать:

- производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения, q кг/с;

- отключение аварийной установки – ручное;

- K_z — доля горючей пыли в общей массе отложений пыли

- в помещении производится механизированная уборка на ровном полу;

– масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между генеральными уборками, M_1 , кг;

– масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между текущими пылеуборками, M_2 , кг.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Вариант	M_{an} , кг	q кг/с	K_c	M_1 , кг	M_2 , кг
1	10	0,5	0,8	500	300
2	12	0,6	0,7	400	180
3	15	0,7	0,9	300	220
4	20	0,4	0,65	200	150
5	18	0,5	0,8	600	400
6	10	0,6	0,7	500	220
7	14	0,7	0,9	400	300
8	22	0,8	0,65	300	170
9	28	0,5	0,8	500	300
10	25	0,6	0,7	400	180
11	14	0,7	0,9	300	220
12	16	0,8	0,65	200	150
13	18	0,5	0,8	600	400
14	21	0,6	0,7	500	220
15	24	0,7	0,9	400	300

2. Рассчитать избыточное давление при сгорании полиэтиленовой пыли в помещении для следующих исходных данных: M_{ez} кг; M_{av} кг; F ; H_m , Дж/кг; $V_{св}$, м³; $V_{ав}$ м³; P_e кг/м³; $T_o = 298$ К; $\rho_{cm} = 0,1$ кг·м³.

3. Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Вариант	M_{ez} кг	M_{av} кг	F	H_m , Дж/кг	$V_{ав}$ м ³	$V_{св}$, м ³	P_e кг/м ³
1	10	90	0,3	$47 \cdot 10^6$	20	2000	1,2
2	11	80	0,4	$40 \cdot 10^6$	18	1800	1,1
3	12	70	0,3	$40 \cdot 10^6$	15	1600	1,0
4	13	85	0,4	$35 \cdot 10^6$	14	2000	1,2
5	14	65	0,3	$37 \cdot 10^6$	13	1800	1,3
6	15	85	0,4	$27 \cdot 10^6$	20	1900	1,4
7	16	70	0,3	$32 \cdot 10^6$	18	2200	1,5
8	17	65	0,4	$35 \cdot 10^6$	15	2000	1,2
9	18	90	0,3	$52 \cdot 10^6$	14	1800	1,1
10	19	80	0,4	$47 \cdot 10^6$	13	1600	1,2
11	20	70	0,3	$44 \cdot 10^6$	20	2000	1,1
12	14	85	0,4	$45 \cdot 10^6$	18	1800	1,0
13	15	65	0,3	$42 \cdot 10^6$	15	2000	1,2
14	16	85	0,4	$41 \cdot 10^6$	14	1800	1,3

15	17	70	0,3	$47 \cdot 10^6$	13	1600	1,4
----	----	----	-----	-----------------	----	------	-----

Практическое занятие 7

Определение категории помещений и наружных установок с горючими газами по взрывопожарной и пожарной опасности

Теоретическая часть

Таблица 1 - Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А повышенная взрывопожаро- опасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б взрывопожаро- опасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1-В4 пожаро- опасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б
Г умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д пониженная	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

пожароопасность	
Примечания 1 Методы определения категорий помещений А и Б устанавливаются в соответствии с приложением А. 2 Отнесение помещения к категории В1, В2, В3 или В4 осуществляется в зависимости от количества и способа размещения пожарной нагрузки в указанном помещении и его объемно-планировочных характеристик, а также от пожароопасных свойств веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку. Разделение помещений на категории В1-В4 регламентируется положениями в соответствии с приложением Б.	

Таблица 2 - Категории наружных установок по пожарной опасности

Категория наружной установки	Критерии отнесения наружной установки к той или иной категории по пожарной опасности
АН повышенная взрывопожаро- опасность	Установка относится к категории АН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, вещества и (или) материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании указанных веществ с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
БН взрывопожаро- опасность	Установка относится к категории БН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие пыли и (или) волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании пыле- и (или) паровоздушных смесей с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
ВН	Установка относится к категории ВН, если в ней

пожароопасность	присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие и (или) трудногорючие жидкости, твердые горючие и (или) трудногорючие вещества и (или) материалы (в том числе пыли и (или) волокна), вещества и (или) материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом гореть, и если не реализуются критерии, позволяющие отнести установку к категории АН или БН (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании указанных веществ и (или) материалов превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
ГН умеренная пожароопасность	Установка относится к категории ГН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) негорючие вещества и (или) материалы в горячем, раскаленном и (или) расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и (или) пламени, а также горючие газы, жидкости и (или) твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
ДН пониженная пожароопасность	Установка относится к категории ДН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) в основном негорючие вещества и (или) материалы в холодном состоянии и если по перечисленным выше критериям она не относится к категории АН, БН, ВН или ГН

Последовательность определения параметров взрывопожарной опасности горючих газов

1. В соответствии с положениями приложения А [1] определяется масса горючего газа (ГГ) m (кг), вышедшего в результате расчетной аварии в помещение.

$$m = (V_a + V_t) \rho_{\Gamma}, \quad (1)$$

где V_a - объем газа, вышедшего из аппарата, м^3 ;

V_t - объем газа, вышедшего из трубопроводов, м^3 .

При этом

$$V_a = 0,01 \cdot P_1 V, \quad (2)$$

где P_1 - давление в аппарате, кПа;

V - объем аппарата, м³;

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (3)$$

где V_{1T} - объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м³;

V_{2T} - объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м³;

$$V_{1T} = qT, \quad (4)$$

где q - расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т.д., м³ · с⁻¹;

T - время истечения, с.

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

- времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;

- 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;

- 300 с при ручном отключении;

$$V_{2т} = 0,01 \cdot \pi P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n), \quad (5)$$

где P_2 - максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа;

$r_{1,2,\dots,n}$ - внутренний радиус трубопроводов, м;

$L_{1,2,\dots,n}$ - длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

2. Согласно химической формуле ГГ определяется значение стехиометрического коэффициента кислорода в реакции сгорания β по формуле :

$\rho_{г,п}$ - плотность газа или пара при расчетной температуре t_p , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вычисляемая по формуле

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2} \quad (6)$$

n_C, n_H, n_O, n_X - число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего;

3. Стехиометрическая концентрация ГГ $C_{ст}$ (% об.) рассчитывается по формуле

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (7)$$

4. Определяется абсолютная максимальная температура воздуха для

данной климатической зоны, соответствующая расчетной температуре t_p (°C) в рассматриваемом помещении.

5. Из справочных данных определяется молярная масса M (кг · кмоль⁻¹) ГГ и удельная теплота сгорания H_T (Дж · кг⁻¹).

6. Плотность ГГ ρ_g (кг · м³) рассчитывается по формуле

$\rho_{г,п}$ - плотность газа или пара при расчетной температуре t_p , кг·м⁻³, вычисляемая по формуле

$$\rho_{г,п} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367t_p)}, \quad (8)$$

где M - молярная масса, м³ · кмоль⁻¹;

V_0 - мольный объем, равный 22,413 м³ · кмоль⁻¹;

t_p - расчетная температура, °C.

7. Определяется свободный объем помещения $V_{св}$ (м³).

8. Избыточное давление взрыва ΔP (кПа) для ГГ, Избыточное давление ΔP для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов C, H, O, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ}{V_{св}\rho_{г,п}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (9)$$

где $P_{\max}$ - максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовой или паровой смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным в соответствии с требованиями 4.3. При отсутствии данных допускается принимать $P_{\max}$ равным 900 кПа;

P_0 - начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

m - масса горючего газа (ГГ) или паров легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг;

Z - коэффициент участия горючих газов и паров в горении, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения согласно приложению Д. Допускается принимать значение Z по таблице 3;

$V_{св}$ - свободный объем помещения, м³;

$\rho_{г,п}$ - плотность газа или пара при расчетной температуре t_p , кг·м⁻³,

K_n - коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать K_n равным трем.

Таблица 3 - Значение коэффициента Z участия горючих газов и паров в горении

Вид горючего вещества	Значение Z
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода)	0,5
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля	0

12. Определяется категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности на основании полученного значения избыточного давления взрыва ΔP (кПа). Если $\Delta P > 5$ кПа, то помещение относится к взрывопожароопасной категории А. Если $\Delta P \leq 5$ кПа, то помещение не относится к взрывопожароопасной категории А и дальнейшее определение

категории помещения в зависимости от пожароопасных свойств и количества обращающихся в помещении веществ и материалов осуществляется в соответствии с требованиями.

Вопросы и задания

Задание 1. Рассчитать категорию наружных установок с горючими газами по пожарной опасности

Исходные данные. Наружная установка. Емкость-сепаратор, расположенная на открытой площадке и предназначенная для отделения факельного газообразного пропилена от возможной влаги. Емкость-сепаратор размещается за ограждением факельной установки на расстоянии $L_2 = 75$ м (длина отводящего трубопровода) от факела и $L_1 = 700$ м (длина подводящего трубопровода) от наружной установки пропиленового холодильного цикла. На участках начала и конца подводящих и отводящих трубопроводов установлены автоматические задвижки (время срабатывания задвижек $\tau = 120$ с). Диаметр подводящего и отводящего трубопроводов $d_{\text{тр1}} = d_{\text{тр2}} = 500$ мм = 0,5 м. Объем емкости-сепаратора $V_a = 50$ м³. Давление газа $P = P_1 = P_2 = 2500$ кПа, расход газа $G = 40000$ кг · ч⁻¹ = 11,1111 кг · с⁻¹, температура газа $t_r = 60$ °С.

Молярная масса пропилена $M = 42,08$ кг · кмоль⁻¹. Химическая формула C_3H_6 . Удельная теплота сгорания пропилена $Q_{\text{сг}} = 45604$ кДж · кг⁻¹ = $45,604 \cdot 10^6$ Дж · кг⁻¹. Плотность пропилена при $t_r = 60$ °С составит:

Задание 2. Исходные данные.

1.1. Наружная установка. Изотермическое хранилище этилена (ИХЭ). Изотермический резервуар хранения этилена (ИРЭ) представляет собой двустенный металлический резервуар. Пространство между внутренней и наружной стеной заполнено теплоизоляцией - пористым слоем перлита.

Объем резервуара $V_p = 10000 \text{ м}^3$. Максимальный коэффициент заполнения резервуара $\alpha = 0,95$. Температура сжиженного этилена $T_{\text{ж}} = -103 \text{ }^{\circ}\text{C} = 170,2 \text{ К}$. Давление паров этилена в резервуаре $P_p = 103,8 \text{ кПа}$. Резервуар размещен в бетонном обваловании площадью $F = 5184 \text{ м}^2$ ($L = S = 72 \text{ м}$, $H = 2,2 \text{ м}$).

При аварийной ситуации в обвалование поступает весь объем сжиженного этилена из резервуара, составляющий с учетом поступившего этилена из подводящих и отводящих трубопроводов до отсечных клапанов $V_{\text{ж}} = 9850 \text{ м}^3$ с массой $m_{\text{ж}} = 5,5948 \cdot 10^6 \text{ кг}$.

1.2. Молярная масса этилена $M = 28,05 \text{ кг} \cdot \text{кмоль}^{-1} = 0,02805 \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$.
1. Удельная теплота сгорания этилена $Q_{\text{сг}} = 46988 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 46,988 \cdot 10^6 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$. Плотность сжиженного этилена при температуре его кипения $T_{\text{к}} = -103,7 \text{ }^{\circ}\text{C} = 169,5 \text{ К}$ равна $\rho_{\text{ж}} = 568 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Максимальная абсолютная температура воздуха и средняя скорость ветра (воздушного потока) в летний период в данном районе (г. Томск) согласно [3] составляют $t_p = T_0 = 36 \text{ }^{\circ}\text{C} = 309,2 \text{ К}$ и $U = 3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ соответственно. Молярная теплота испарения сжиженного этилена $L_{\text{исп}} = 481,62 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} = 4,8162 \cdot 10^5 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} = 13509,4 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$. Коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_{\text{тв}} = 1,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, воздуха $\lambda_{\text{в}} = 0,0155 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. Теплоемкость бетона $C_{\text{тв}} = 840 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$.
1. Плотность бетона $\rho_{\text{тв}} = 2000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Кинематическая вязкость воздуха $\nu_{\text{в}} = 18,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} = 1,62 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Практическое занятие 8

Расчет средств обеспечения пожарной безопасности на пожаровзрывоопасных объектах

Теоретическая часть

Метод устанавливает порядок расчета площади сливного отверстия в ограничивающем жидкость устройстве (поддоне, отсеке, огражденном бортиками участке цеха, производственной площадке и т.п.), при котором исключается перелив жидкости через борт ограничивающего устройства и растекание жидкости за его пределами.

В расчете учитывают поступление горючей жидкости в поддон из аппарата в момент его аварийного вскрытия, воды от установки пожаротушения и выгорание жидкости с поверхности поддона.

В методике расчета приняты следующие предположения:

- при возникновении аварийной ситуации герметичность стенок аппарата не нарушается;
- разрушаются только патрубки, лежащие ниже уровня жидкости в аппарате, образуя сливные отверстия, равные диаметру патрубков;
- вероятность одновременного разрушения двух патрубков мала;
- давление паров над поверхностью жидкости в аппарате в процессе слива жидкости не меняется.

Целью расчета является выбор площади поддона $F_{\text{п}}$, м^2 , и расчет площади сливного отверстия f м^2 .

По заданным исходным данным определить начальные расходы Q_i , $\text{м}^3/\text{с}$, жидкости из аппарата через отверстия, равные сечению трубопроводов, расположенных на аппарате, по формуле

$$Q_i = \varphi \sigma_i \sqrt{2gH_i}, \quad (1)$$

где $\varphi_i = 0,65$ — коэффициент истечения жидкости через отверстие;

σ_i — площадь сечения i -го трубопровода;

g — ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$;

H_i — высота уровня жидкости над i -м трубопроводом.

По наибольшему из вычисленных начальных расходов Q_m выбрать площадь отверстия в аппарате σ и высоту уровня жидкости над ним H_o .

Из конструктивных соображений выбрать площадь поддона F_n , м^2 .

Определить m

$$m = \frac{F_a H_o}{F_n h_{\max}}, \quad (2)$$

где $h_{\max} = 0,8L$ — максимально допустимый уровень жидкости в поддоне.

Вычислить объем жидкости, поступающей в поддон в единицу времени от установки пожаротушения (с учетом выгорания горючей жидкости) Q_0 , $\text{м}^3/\text{с}$, по формуле

$$Q_0 = \frac{(I - W)F_n}{\rho}, \quad (3)$$

где ρ — плотность огнетушащей жидкости, кг/м^3 .

При отсутствии данных по скорости выгорания W следует положить равной нулю.

Если $m < 1$, то площадь сливного отверстия определить по формуле

$$f = \frac{Q_0}{\varphi \cdot \sqrt{2gh_{\max}}}. \quad (4)$$

При $m \geq 1$ порядок расчета f следующий:

Определить напор, создаваемый сжатыми газами в аппарате

$$H_p = \frac{p}{\rho g}, \quad (5)$$

где ρ — плотность воды, кг/м^3 .

Вычислить значение параметра

$$b = \ln \left[\sqrt{\frac{F_a(H_0 + H_p)}{F_n h_{\max}}} \left(1 + \sqrt{\frac{Q_0}{Q_{\max}}} \sqrt{\frac{H_0}{H_0 + H_p}} \right) \right], \quad (6)$$

где Q_{max} — максимальный расход жидкости из аппарата, определяемый по М.2.2.

По b с помощью таблицы 1 необходимо найти a . Если данных таблицы 1 для определения a недостаточно, то a определяют путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} b = \frac{\alpha}{\operatorname{th} \alpha}, \\ a = \operatorname{ch} \alpha. \end{cases} \quad (7)$$

Таблица 1 — Зависимость параметра a от b

a	b	a	b	a	b	a	b
0,000	0,000	0,990	0,993	3,107	1,901	14,999	3,408
0,071	0,106	1,000	1,000	3,418	1,987	16,573	3,506
0,170	0,241	1,045	1,030	3,762	2,075	18,313	3,605
0,268	0,361	1,081	1,053	4,144	2,164	20,236	3,705
0,362	0,467	1,185	1,117	4,568	2,255	22,362	3,804
0,454	0,560	1,255	1,158	5,037	2,347	24,711	3,903
0,540	0,642	1,337	1,205	5,557	2,440	27,308	4,003
0,622	0,714	1,433	1,256	6,132	2,534	30,178	4,102
0,697	0,777	1,543	1,313	6,769	2,628	33,351	4,219
0,765	0,831	1,668	1,374	7,473	2,725	36,857	4,302
0,853	0,877	1,810	1,439	8,253	2,821	40,732	4,401
0,876	0,915	1,971	1,509	9,115	2,918	45,014	4,501
0,921	0,946	2,151	1,581	10,068	3,015	54,978	4,701
0,955	0,970	2,352	1,657	11,121	3,113	67,148	4,901
0,980	0,980	2,575	1,736	12,287	3,211	74,210	5,000
0,986	0,986	2,828	1,817	13,575	3,309		

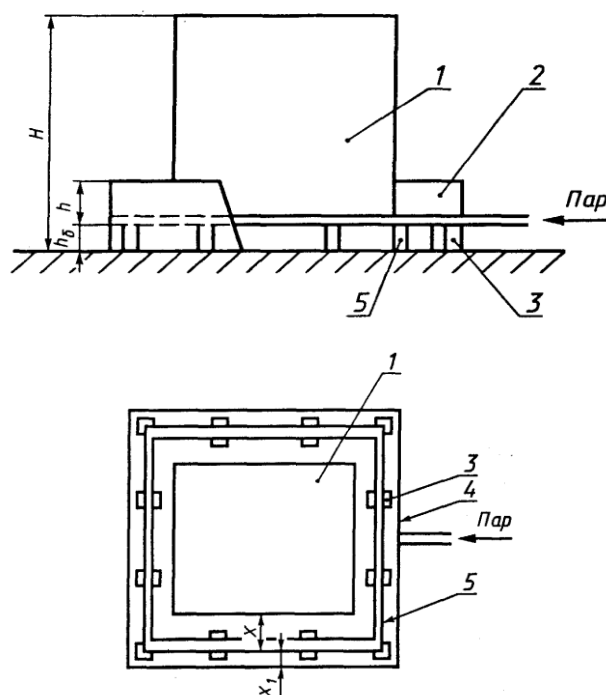
Рассчитать f м³, по формуле

$$f = 2a\sigma \sqrt{\frac{F_n}{F_a}}. \quad (8)$$

Выбрать сечение отходящих от поддона трубопроводов f_m из условия $f_m > f$.

Расчет противопожарных паровых завес

Противопожарная паровая завеса предназначена для предотвращения контакта горючих газовых смесей, образующихся при авариях на предприятиях нефтехимической и газовой промышленности, с источниками зажигания (например нагревательными печами). Завеса должна обладать достаточными плотностью и дальностью, исключающими проскок горючей смеси в защищаемую зону объекта. Выполнение этих требований достигается оптимальной компоновкой конструкции устройства, воспроизводящего завесу, и расчетом параметров завесы. Метод включает только расчет устройства, воспроизводящего паровую завесу. Расчет магистрального паропровода проводится по общеизвестным методам.



1 — защищаемый объект; 2 — ограждение; 3 — опора коллектора; 4 — коллектор; 5 — дренажный вентиль; h — высота верхней кромки ограждения над коллектором; h_b — высота опоры; X — расстояние от коллектора до защищаемой стороны объекта; X_1 — расстояние от ограждения до коллектора

Рисунок 1 — Схема устройства для создания паровой завесы

Устройство для создания паровой завесы (рисунок 1) представляет

собой кольцевой трубчатый коллектор, вдоль оси которого по всей верхней части просверлены отверстия одинакового диаметра на равном расстоянии друг от друга. Диаметр и длину коллектора, количество и диаметр отверстий определяют расчетом.

Коллектор располагается на металлических, бетонных или кирпичных опорах, высота которых должна быть не менее 0,2 м.

Расстояние от коллектора до защищаемого объекта определяют расчетом.

Коллектор должен иметь дренажные вентили для спуска конденсата или атмосферных осадков.

Вдоль оси коллектора устанавливают жесткое газонепроницаемое ограждение (листовое железо или кирпичная стена) для предотвращения проскока горючей смеси между отдельными струями в начальном участке завесы. Верхняя кромка ограждения должна быть на 0,4—0,6 м выше коллектора. Расстояние между коллектором и ограждением определяют расчетом. Проемы в ограждениях должны быть постоянно закрыты плотными дверями.

Траектория струи завесы должна превышать защищаемую зону. Высоту завесы над защищаемой зоной определяют расчетом. Для высоких объектов завеса может быть выполнена многосекционной в вертикальном направлении.

Для обеспечения равномерной раздачи пара по длине коллектора необходимо, чтобы отношение суммарной площади отверстий к площади поперечного сечения коллектора было меньше или равно 0,3.

Температуру воздуха при расчете принимать равной средней для наиболее холодного (зимнего) периода времени, характерного данному географическому району.

Скорость ветра при расчете принимать равной средней скорости для наиболее ветренного периода, характерного данному географическому району.

Порядок расчета параметров паровой завесы

Исходными величинами для расчета параметров завесы принимают:

- давление и удельный объем пара в коллекторе завесы;
- скорость ветра;
- плотность (температура) воздуха;
- высота и периметр защищаемой зоны объекта;
- высота верхней кромки ограждения над коллектором;
- высота опоры коллектора.

Рассчитывают следующие величины.

Расстояние X , м, от коллектора завесы до защищаемого объекта

$$X = 0,25 H, \quad (9)$$

где H — высота защищаемой зоны объекта, м.

Длина коллектора $L_{кол}$, м

$$L_{кол} = P + 8X, \quad (10)$$

где P — периметр защищаемого объекта, м.

Удельный расход пара из отверстий коллектора $\rho_0 W_0$, кг/(м² · с)

$$\rho_0 W_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{K}{K-1} \cdot \frac{p_1}{V_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{2/K} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(K+1)/K} \right]}, \quad (11)$$

где ρ_0 — плотность пара, кг/м³;

W_0 — скорость выхода пара, м/с;

p_1 — давление пара в коллекторе, Па;

V_1 — удельный объем пара в коллекторе, м³/кг;

p_2 — атмосферное давление, Па;

K — показатель адиабаты пара (для перегретого пара принять $K = 1,3$, для насыщенного пара $K = 1,135$).

Диаметр отверстий на коллекторе d_0 , м

$$d_0 = \left(\frac{\rho_0 W_0}{\rho_0 W_0} \right)^{1,5} \frac{H^{1,5}}{X^{0,5}}, \quad (12)$$

где ρ_e — плотность воздуха, кг/м³;

W_e — скорость ветра, м/с.

Если по условиям расчета задается диаметр отверстий, то следует определить высоту завесы H_z , м

$$H_z = X^{0,333} d_0^{0,667} \frac{\rho_0 W_0}{\rho_e W_e}, \quad (13)$$

Расстояния между отверстиями l , м

$$l = \frac{h}{2,0}, \quad (14)$$

где h — высота верхней кромки ограждения над коллектором, м.

Количество отверстий n , шт.

$$n = \frac{L_{кол}}{l} + 1, \quad (15)$$

Диаметр коллектора $D_{кол}$, м

$$D_{кол} = 1,83 d_0 \sqrt{n}, \quad (16)$$

Расход пара G_n , кг/с:

$$G_n = 0,785 \varphi d_0^2 n \rho_0 W_0. \quad (17)$$

где φ — коэффициент расхода пара через отверстие (φ от 0,6 до 0,8).

Н.2.9 Общая высота ограждения $h_{огр}$, м:

$$h_{огр} = h + h_б. \quad (18)$$

где $h_б$ — высота опоры коллектора, м.

Расстояние от ограждения до коллектора X_1 , м:

$$X_1 = 0,25h. \quad (19)$$

Длина ограждения $L_{огр}$, м:

$$L_{огр} = L_{кол} + 8X_1. \quad (20)$$

Указанный порядок расчета проводят после ориентировочного выбора значений давления пара и диаметра отверстий в коллекторе по таблице 2.

Таблица 2 — Изменение высоты завесы в зависимости от диаметра отверстий и давления пара

$P_1, 10^5 \text{ Па}$	$d_0, \text{ мм}$							
	3	4	5	6	7	8	9	10
$W_6 = 2 \text{ м/с}$								
3	3,30	4,05	4,7	5,3	5,9	6,5	7,0	7,5
4	4,00	4,80	5,5	6,3	7,0	7,6	8,2	8,7
5	4,50	5,40	6,3	7,2	7,9	8,7	9,3	10,0
6	4,85	5,80	6,7	7,7	8,5	9,3	10,0	—
7	5,25	6,30	7,3	8,3	9,2	10,0	—	—
8	5,50	6,60	7,6	8,7	9,5	—	—	—
9	5,75	7,00	8,0	9,2	10,0	—	—	—
10	6,15	7,40	8,5	9,8	—	—	—	—
12	6,70	8,00	9,3	11,0	—	—	—	—
14	7,10	8,50	10,0	—	—	—	—	—
16	7,50	9,00	—	—	—	—	—	—
$W_6 = 3 \text{ м/с}$								
4	2,60	3,20	3,70	4,20	4,60	5,0	5,5	5,80
5	3,00	3,60	4,15	4,80	5,25	5,7	6,2	6,60
6	3,20	3,90	4,50	5,15	5,70	6,2	6,7	7,15
7	3,50	4,20	4,85	5,50	6,10	6,7	7,2	7,70
8	3,65	4,40	5,20	5,80	6,40	7,0	7,6	8,10
10	4,10	5,00	5,70	6,50	7,20	7,9	8,5	9,10
12	4,40	5,40	6,20	7,00	7,80	8,5	9,2	9,80
16	5,00	6,00	6,90	7,80	8,70	9,5	10,3	—
$W_6 = 4 \text{ м/с}$								
4	—	2,40	2,80	3,1	3,50	3,8	4,1	4,4
5	—	2,80	3,10	3,5	3,90	4,3	4,6	5,0
6	2,42	2,92	3,36	3,8	4,25	4,6	5,0	5,4
7	2,60	3,16	3,60	4,1	4,60	5,0	5,4	5,8
8	2,70	3,30	3,80	4,3	4,80	5,2	5,6	6,0
9	2,90	3,45	4,00	4,5	5,00	5,5	5,9	6,3
10	3,10	3,74	4,30	4,9	5,40	5,9	6,4	6,8
12	3,30	4,10	4,70	5,1	5,90	6,4	6,9	7,4
15	3,60	4,40	5,00	5,7	6,30	6,9	7,4	8,0
$W_6 = 6 \text{ м/с}$								
4	—	—	1,84	2,10	2,30	2,54	2,75	2,90
6	—	1,95	2,25	2,57	2,82	3,10	3,34	3,60
8	—	2,20	2,52	2,90	3,20	3,50	3,80	4,00
10	2,10	2,50	2,85	3,16	3,60	4,00	4,30	4,60
12	2,20	2,65	3,06	3,40	3,85	4,20	4,60	4,90
15	2,42	2,90	3,86	3,82	4,25	4,60	5,00	5,35

В вертикальной графе даны значения давления пара, в горизонтальной — диаметры отверстий, а в пересечении горизонтальных и вертикальных граф высоты паровых завес (высота защищаемых зон) в метрах.

Таблица составлена для скоростей ветра 2, 3, 4 и 6 м/с. При больших скоростях ветра указанные величины следует принимать такими же, что и для 6 м/с. Таблица дает возможность оценить необходимое значение

давления пара и соответствующий ему диаметр отверстий для обеспечения требуемой высоты завесы (высоты защищаемого объекта).

Для одного и того же давления пара высота завесы будет тем больше, чем больше диаметр отверстий. Однако с увеличением диаметра будет увеличиваться расход пара. Следует подбирать давление пара и диаметр отверстий таким образом, чтобы были обеспечены требуемая высота завесы и наиболее экономичный отбор пара. Диаметр отверстий следует принимать наименьшим из возможного (но не менее 3 мм) для каждого давления пара.

Свойства насыщенного водяного пара (в равновесии с жидкой фазой)

Давление пара, Па	Удельный объём пара V_1 , м ³ / кг
$1.013 \cdot 10^5$	1.674
$1.21 \cdot 10^5$	1.420
$1.77 \cdot 10^5$	0.996
$1.96 \cdot 10^5$	0.902
$2.94 \cdot 10^5$	0.617
$3.92 \cdot 10^5$	0.4708
$4.90 \cdot 10^5$	0.3818
$5.88 \cdot 10^5$	0.3214
$6.86 \cdot 10^5$	0.2778
$7.84 \cdot 10^5$	0.2448
$8.82 \cdot 10^5$	0.2189
$9.81 \cdot 10^5$	0.1980
$1.18 \cdot 10^6$	0.1663
$1.37 \cdot 10^6$	0.1434
$1.57 \cdot 10^6$	0.1261
$1.77 \cdot 10^6$	0.1125
$1.96 \cdot 10^6$	0.1015
$2.94 \cdot 10^6$	0.0679

Вопросы и задания

1. В производственном помещении вертикально установлен цилиндрический аппарат диаметром D 1,5 м и заполнен горючей жидкостью

веществом. Аппарат имеет четыре патрубка. Сечения патрубков, σ_i , м^2 , и высоты уровней жидкости над ними, H_i , м, представлены в таблице А. Нормативная интенсивность подачи воды от системы пожаротушения равна $0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Скорость выгорания толуола W , $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Давление в аппарате равно атмосферному. Предполагается под аппаратом установить поддон с высотой борта L , м. Необходимо определить площадь поддона $F_{\text{п}}$ и площадь сливного отверстия f .

Таблица А

Номер патрубка	H_i , м	σ_i , м^2	Номер патрубка	H_i , м	σ_i , м^2
Вариант 1					
1	1,2	$2,1 \cdot 10^{-3}$	3	3,0	$1,13 \cdot 10^{-2}$
2	2,3	$0,6 \cdot 10^{-3}$	4	5,0	$0,785 \cdot 10^{-2}$
Вариант 2					
1	2,0	$3,3 \cdot 10^{-3}$	3	4,1	$1,8 \cdot 10^{-2}$
2	1,5	$1,5 \cdot 10^{-3}$	4	3,5	$0,5 \cdot 10^{-2}$
Вариант 3					
1	1,0	$3,1 \cdot 10^{-3}$	3	4,0	$2,1 \cdot 10^{-2}$
2	2,5	$0,5 \cdot 10^{-3}$	4	6,0	$1,8 \cdot 10^{-2}$
Вариант 4					
1	1,0	$3,1 \cdot 10^{-3}$	3	3,5	$1,1 \cdot 10^{-2}$
2	2,5	$0,5 \cdot 10^{-3}$	4	5,3	$0,785 \cdot 10^{-2}$
Вариант 5					
1	2,2	$2,9 \cdot 10^{-3}$	3	5,4	$2,0 \cdot 10^{-2}$
2	1,8	$1,4 \cdot 10^{-3}$	4	4,4	$0,8 \cdot 10^{-2}$
Вариант 6					
1	3,0	$4,2 \cdot 10^{-3}$	3	2,9	$1,3 \cdot 10^{-2}$
2	1,8	$2,2 \cdot 10^{-3}$	4	4,6	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Вариант 7					
1	1,5	$2,7 \cdot 10^{-3}$	3	5,2	$0,95 \cdot 10^{-2}$
2	2,0	$1,75 \cdot 10^{-3}$	4	4,5	$0,7 \cdot 10^{-2}$
Вариант 8					
1	1,0	$2,61 \cdot 10^{-3}$	3	4,0	$2,5 \cdot 10^{-2}$
2	2,5	$1,6 \cdot 10^{-3}$	4	6,0	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Вариант 9					
1	2,3	$3,1 \cdot 10^{-3}$	3	3,4	$1,13 \cdot 10^{-2}$
2	2,5	$0,5 \cdot 10^{-3}$	4	5,8	$0,785 \cdot 10^{-2}$
Вариант 10					
1	1,9	$3,8 \cdot 10^{-3}$	3	4,4	$1,5 \cdot 10^{-2}$
2	2,9	$1,4 \cdot 10^{-3}$	4	6,5	$0,75 \cdot 10^{-2}$

Таблица Б

Вариант	Вид ГЖ	W $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	L , м	D , м
1	Толуол	$4,3 \cdot 10^{-2}$	0,2	1,5
2	Ксилол	$9 \cdot 10^{-2}$	0,25	2,0

3	Бензин А-76	$5,8 \cdot 10^{-2}$	0,3	1,8
4	Керосин	$4,1 \cdot 10^{-2}$	0,35	2,5
5	Нефть	$2,4 \cdot 10^{-2}$	0,4	3,6
6	Толуол	$4,3 \cdot 10^{-2}$	0,5	2,4
7	Ксилол	$9 \cdot 10^{-2}$	0,45	1,8
8	Бензин А-76	$5,8 \cdot 10^{-2}$	0,55	3,0
9	Керосин	$4,1 \cdot 10^{-2}$	0,6	4,2
10	Нефть	$2,4 \cdot 10^{-2}$	0,65	3,9

2. Провести расчет параметров паровой завесы для технологической трубчатой печи (радиантно-конвекционной с вертикальным движением газов). Периметр защищаемой зоны $P = 20$ м, высота защищаемой зоны $H = 6$ м. Средняя температура наиболее холодного периода времени $t_b = -15$ °С ($\rho_b = 1,36$ кг/м³). Атмосферное давление $p_2 \approx 10^5$ Па. Скорость ветра $W_b = 2$ м/с. Коллектор завесы удобно расположить на бетонных опорах высотой $h_6 = 0,2$ м, а высоту верхней кромки ограждения над коллектором завесы принять равной $h = 0,5$ м. Плотность пара, $\rho_0 = 3,6$ кг/м³, скорость выхода пара $W_0 = 200$ м/с.

Таблица В – Исходные данные

Вариант	P , м	H , м	W_0 , м/с.
1	20	6	2
2	30	5,3	3
3	25	4,5	4
4	38	7	2
5	17	4,2	4
6	35	4,6	3
7	22	3,8	4
8	34	6,4	2
9	30	5,7	3
10	27	4,6	4

Практическое занятие 9

Расчет флегматизирующих концентраций (флегматизация в помещениях и технологических аппаратах)

Теоретическая часть

Для обеспечения взрывобезопасности технологического оборудования и производственных помещений осуществляют флегматизацию горючих парогазовых смесей в указанных объемах с помощью различных газообразных добавок. Количественно флегматизация характеризуется минимальной флегматизирующей концентрацией флегматизатора C_ϕ .

C_ϕ , (% об.), для горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, рассчитывают по формуле

$$C_\phi = C_z V_\phi, \quad (1)$$

где C_z — концентрация горючего в точке флегматизации, % об.

$$(C_z = 100 / ([1 + 2,42(m_C + 0,5m_H - m_O) + V_\phi];$$

V_ϕ — число молей флегматизатора, приходящееся на один моль горючего в смеси, соответствующей по составу точке флегматизации:

$$V_\phi = \frac{8,097m_C + 65,571m_H + 69,079m_O - 17,469m_v + \Delta H_f^0}{(H_\phi^1 - H_\phi^0)}, \quad (2)$$

ΔH_f^0 — стандартная теплота образования горючего газа, кДж/моль.

Предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора $C_{p\phi}$, (% об.), рассчитывают по формуле

$$C_{p\phi} = C_\phi K, \quad (3)$$

$$K = \begin{cases} 1,2 & \text{при } C_\phi \geq 15\% \\ 1,5 & \text{при } C_\phi \leq 15\% \end{cases}$$

где

Разность энтальпий флегматизатора $(H_\phi^1 - H_\phi^0)$ определяют в соответствии с приведенными в таблице 1 данными.

Таблица 1- Разность энтальпий флегматизатора $(H_\phi^1 - H_\phi^0)$

Флегматизатор	$(H_\phi^1 - H_\phi^0)$ кДж/моль	Флегматизатор	$(H_\phi^1 - H_\phi^0)$ кДж/моль
---------------	----------------------------------	---------------	----------------------------------

N ₂	34,9	CF ₂ ClBr	449,0
H ₂ O	43,6	CF ₃ Br	573,0
CO ₂	55,9	CFCl ₃	142,0
C ₂ F ₃ Cl ₃	218,0	CCl ₄	170,0
CF ₆	150,0	CF ₄	90,0
CHF ₂ Cl	110,0	C ₃ H ₄ F ₃ Cl	208,0
C ₂ F ₂ Cl ₂	170,0	C ₃ H ₈	216,0
C ₂ F ₄ Br ₂	830,0	C ₂ F ₅ Cl	200,0
C ₂ F ₄ Cl ₂	200,0		

Вопросы и задания

1. Рассчитать концентрации горючего C_z и разбавителя C_ϕ в экстремальной точке области воспламенения при флегматизации пропана C₃H₈ диоксидом углерода.

2. Рассчитать концентрации горючего C_z и разбавителя C_ϕ в экстремальной точке области воспламенения при флегматизации метана CH₄ 1-2-дихлорэтаном (C₂F₄Cl₂).

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по организации самостоятельной работы студентов
по дисциплине «**Методологические аспекты обеспечения пожарной
безопасности технологических процессов и производств**»
для студентов направления подготовки
20.04.01 Техносферная безопасность
направленность (профиль) «Промышленная и пожарная безопасность»

**Ставрополь
2026**

Введение

При изучении дисциплины «Методологические аспекты обеспечения пожарной безопасности технологических процессов и производств» учебным планом предусмотрены аудиторные занятия (лекции и практические), а также самостоятельная работа студентов (СРС).

Основными формами работы и контроля СРС в данном курсе являются:

- самостоятельное изучение основного и дополнительного материала по темам, представленным в рабочей программе дисциплины. Отчет по данной форме контроля представляется в форме конспекта, проверяется с помощью собеседования или тестирования. Данное мероприятие сочетает письменную и устную формы деятельности студента; выявляет аналитические умения, навыки выделения смысловых центров текста;

- Выполнение индивидуального задания;
- подготовка к экзамену

В методических указаниях представлены рекомендации по организации самостоятельной работы по данным направлениям.

Общая характеристика самостоятельной работы студента

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Методологические аспекты обеспечения пожарной безопасности технологических процессов и производств» позволяет сформировать знания, умения и навыки бакалавров направления подготовки **20.04.01** «Техносферная безопасность», об основных опасностях и направлениях обеспечения безопасности технологических процессов и производств.

План-график выполнения самостоятельной работы

В соответствии с рабочими программами дисциплины «Методологические аспекты обеспечения пожарной безопасности технологических процессов и производств» для самостоятельная работа студентов организуется по графику, представленному в таблице 1.

Таблица 1 – Виды самостоятельной работы студентов и формы их контроля

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки
Тема. Общие сведения о технологическом оборудовании пожаровзрывоопасных производств	Конспект	Собеседование, тестирование
Тема. Оценка пожаровзрывоопасности среды внутри технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности.	Конспект	Собеседование, тестирование
Тема. Оценка пожаровзрывоопасности среды снаружи нормально работающего технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности	Конспект	Собеседование, тестирование
Тема. Оценка пожаровзрывоопасности среды в зоне выхода горючих веществ из поврежденного технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности	Конспект	Собеседование, тестирование
Тема. Оценка параметров пожаровзрывоопасности при авариях и пожарах на наружных технологических установках.	Конспект	Собеседование, тестирование

Тема. Предупреждение распространения пожара путем ограничения количества горючих веществ и материалов в производстве	Конспект	Собеседование, тестирование
Тема. Предупреждение распространения пожара по производственным коммуникациям	Конспект	Собеседование, тестирование
Тема. Предупреждение распространения пожара при разрушении технологического оборудования	Конспект	Собеседование, тестирование
Тема. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов нагревания и охлаждения горючих веществ	Конспект	Собеседование, тестирование
Выполнение индивидуального задания	работа	работа

Подготовка к собеседованию

Проверка знаний материала лекционных и практических занятий проводится в виде собеседования (по всем темам) и тестирования (по некоторым темам при необходимости). Предполагается, что отдельные вопросы тем дисциплины изучаются студентами самостоятельно (таблица 1). Знания указанных вопросов проверяется наличием конспектов и собеседованием. Паспорт форда тестовых заданий представлен в ФОС.

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя собеседование по вопросам тем дисциплины.

Данное оценочное мероприятия проводится на каждом практическом и (или) семинарском занятии на основании материалов и знаний, полученных на лекциях, а также при изучении основной и дополнительной литературы. Для подготовки к данному оценочному мероприятию студенту необходимо подготовить устные ответы на вопросы собеседования, либо законспектировать данные ответы в тетрадь (не обязательно)

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования материалами лекций, основной и дополнительной литературы, а также Интернет-ресурсов.

При проверке задания, оцениваются:

- правильность ответов;

- чёткое знание терминологии;
- умение грамотно, четко и последовательно излагать материал;
- использование дополнительной литературы при подготовке;
- умение анализировать теоретический материал и сопоставлять его с практикой;
- знание статистических данных об изучаемых процессах и явлениях;
- умение приводить конкретные примеры.

В процессе самостоятельного изучения отдельных вопросов тем дисциплины рекомендуется работа с литературой, перечень которой приведен в конце методических указаний.

Вопросы для собеседования (самопроверки)

Тема. Общие сведения о технологическом оборудовании пожаровзрывоопасных производств

1. Какие принципы обеспечения пожарной безопасности изложены в ГОСТ 12.1.004-91?
2. Какие общие требования по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов изложены в ГОСТ Р 12.3.047-98?
3. Как классифицируются технологические процессы согласно ГОСТ Р 12.3.047-98?
4. Что такое критерий аддитивности и для чего его определяют?
5. К какому виду относится технологический процесс, для которого критерий аддитивности больше или равен 1?
6. К какому виду относится технологический процесс, для которого критерий аддитивности меньше 1?
7. Что такое пороговое количество опасного вещества и для каких классов веществ оно установлено?
8. В чем заключается сущность анализа пожарной опасности технологического процесса повышенной опасности?

9. В каком случае считается безусловно выполненной пожарная безопасность технологического процесса повышенной опасности?

10. В каком случае эксплуатация технологического процесса повышенной опасности является недопустимой?

11. Что требуется предпринять, если риски при эксплуатации технологического процесса повышенной опасности превышают допустимые значения?

12. В каком случае допускается использовать иные критерии пожарной безопасности технологического процесса, отличные от рисков?

13. Какие иные критерии, отличные от рисков, допускается использовать для оценки пожарной безопасности технологического процесса?

14. В чем заключается сущность анализа пожарной опасности технологического процесса, отличного от процесса повышенной опасности?

15. Укажите типы технологических аппаратов в зависимости от степени их герметизации.

16. Как влияют свойства перерабатываемого вещества на выбор типа аппарата?

17. Поясните общее условие образования ВОК в технологическом оборудовании.

18. В каких случаях в аппаратах с горючими газами образуются ВОК?

19. Зачем при определении безопасной концентрации горючего вещества в аппарате вводят коэффициент запаса надежности?

20. Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасной эксплуатации герметичных аппаратов с ГГ.

21. Какие инертные газы применяются для флегматизации среды в аппаратах?

22. Как обеспечивают безопасные условия эксплуатации аппаратов с ГГ, работающих под вакуумом?

23. Как обеспечивают безопасные условия эксплуатации аппаратов, горючие смеси в которых по условиям технологии нельзя флегматизировать инертными газами?

24. Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасности дышащих аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.

25. Поясните причины и условия образования ВОК в герметичных аппаратах с ЛВЖ и ГЖ.

26. Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасной эксплуатации герметичных аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.

27. Поясните условие перехода осевшей пыли во взвешенное состояние.

28. Перечислите основные способы обеспечения взрывобезопасности оборудования с горючими пылями (волокнами).

29. По каким причинам происходит образование ВОК в аппаратах при их пуске в работу или остановке на ремонт?

30. Как предотвращают образование ВОК в технологическом оборудовании при его пуске в работу?

31. Как предотвращают образование ВОК в технологическом оборудовании при его остановке на осмотр или ремонт?

32. Напишите условие образования ВОК в аппарате с горючим газом и поясните его.

33. Как можно определить рабочую концентрацию ГГ в аппарате?

34. Напишите условия взрывобезопасной эксплуатации аппарата с ГГ и поясните их.

35. Как определить расчетом предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию флегматизатора?

36. Напишите условие взрывоопасности при эксплуатации открытого аппарата с ЛВЖ и поясните его.

37. Напишите условие взрывобезопасности при эксплуатации открытого аппарата с ЛВЖ и поясните его.

38. Перечислите способы и технические решения обеспечения пожаровзрывобезопасной эксплуатации открытых аппаратов с ЛВЖ и ГЖ.

39. Напишите условие образования ВОК в аппарате с неподвижным уровнем длительно хранящейся ЛВЖ и поясните его.

40. Напишите взрывобезопасные температурные условия эксплуатации аппаратов с неподвижным уровнем ЛВЖ и поясните их.

41. Напишите условия образования ВОК в дышащем аппарате с подвижным уровнем ЛВЖ и поясните их.

42. Напишите взрывобезопасное температурное условие эксплуатации аппарата с подвижным уровнем ЛВЖ и поясните его.

43. Напишите условия обеспечения взрывобезопасности при эксплуатации герметичных аппаратов с ЛВЖ и ГЖ и поясните их.

44. Напишите условие образования ВОК в аппарате с горючей пылью и поясните его.

45. Напишите взрывобезопасное условие эксплуатации аппарата с горючей пылью и поясните его.

Тема 2. Оценка пожаровзрывоопасности среды внутри технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности.

1. В каких случаях в открытых и дышащих могут образовываться и выделяться наружу горючие газы?

2. Как определить массу выделяющего водорода при зарядке аккумулятора?

3. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации в производственных помещениях открытых и дышащих аппаратов, из которых возможно выделение горючих газов.

4. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации на наружных установках открытых и дышащих аппаратов, из которых возможно выделение горючих газов.

5. По каким причинам происходят утечки горючих газов (перегретых паров) из нормально работающих герметичных аппаратов?

6. Как найти предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию горючего газа в производственном помещении?

7. Способствует ли выполнение требований промсанитарии обеспечению пожарной безопасности?

8. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации герметичных аппаратов с горючими газами.

9. Приведите примеры использования в промышленности открытых аппаратов с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями.

Тема 3. Оценка пожаровзрывоопасности среды снаружи нормально работающего технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности

1. При каком условии над поверхностью горючей жидкости может образоваться зона ВОК?

2. Как распределяется концентрация паров над поверхностью горючей жидкости при испарении в неподвижную среду?

3. Чему равна средняя концентрация паров над поверхностью испаряющейся в неподвижную среду горючей жидкости?

4. Поясните величины, входящие в формулу для определения массы испаряющейся горючей жидкости в неподвижную среду, и укажите область ее применения.

5. Что подразумевает термин «доля участия горючих паров в образовании зон ВОК»?

6. Вследствие чего происходит испарение жидкости в движущуюся среду?

7. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации открытых аппаратов с горючими жидкостями.

8. Приведите примеры дышащих аппаратов с горючими жидкостями и поясните, почему паровоздушная смесь из них выходит наружу?

9. К каким последствиям приводит выход паровоздушной смеси наружу из дышащего аппарата?

10. Перечислите способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации дышащих аппаратов.

11. Для чего служит дыхательный клапан?

12. Как устроен и работает дыхательный клапан ДК?

13. Как устроен и работает дыхательный клапан НДКМ?

14. Поясните, почему установка дисков-отражателей в резервуарах позволяет снизить потери паров?

15. Как устроена и работает газоуравнительная система?

16. Поясните сущность работы концевого обратного холодильника.

17. Укажите особенности эксплуатации производств, в которых обращаются горючие пыли или волокна, по сравнению с производствами, в которых обращаются горючие газы или жидкости.

18. Чем опасны потери пылевидных материалов при работе технологического оборудования?

19. Перечислите виды и основные способы уборки отложений пыли или волокон в помещениях.

20. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации открытых аппаратов с порошками, пылевидными материалами или волокнами.

21. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации дышащих аппаратов с порошками, пылевидными материалами или волокнами.

22. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации герметичных аппаратов с порошками, пылевидными материалами или волокнами.

23. Укажите причины выхода горючих веществ из периодически действующих аппаратов.

24. Перечислите основные способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации периодически действующих аппаратов

1. Определите массу выделяющегося ацетилена при взаимодействии 1 кг карбида кальция с водой.

2. Как оценить объем зоны ВОК вблизи места выделения горючего газа?

3. Какие факторы влияют на интенсивность утечек горючих газов (перегретых паров) из нормально работающих герметичных аппаратов?

4. Как определить концентрацию горючего газа в производственном помещении при отсутствии воздухообмена?

5. Как определить концентрацию горючего газа в производственном помещении при наличии воздухообмена?

6. Покажите на графике $\phi = f(\tau, h)$ вид зоны ВОК над поверхностью испаряющейся в неподвижную среду горючей жидкости при $\phi_n \leq \phi_s \leq \phi_v$.

7. Покажите на графике $\phi = f(\tau, h)$ вид зоны ВОК над поверхностью испаряющейся в неподвижную среду горючей жидкости при $\phi_s > \phi_v$.

8. Поясните, каким образом можно определить объем зоны ВОК при испарении горючей жидкости в неподвижную среду?

9. Как определить долю участия горючих паров в образовании зоны ВОК при $\phi_n \leq \phi_s \leq \phi_v$?

10. Как определить долю участия горючих паров в образовании зоны ВОК при $\phi_s > \phi_v$?

11. От чего зависят параметры зон ВОК при испарении горючей жидкости в неподвижную среду?

12. Поясните величины, входящие в уравнение массопередачи.

13. Чему равна средняя движущая сила процесса массопереноса?
14. Поясните величины, входящие в эмпирическую зависимость для определения массы испарившейся жидкости.
15. При каком условии вблизи дыхательного патрубка может образоваться зона ВОК?
16. Выведите общее уравнение потерь паров горючих жидкостей из дышащих аппаратов.
17. Выведите уравнение потерь паров горючих жидкостей из дышащих аппаратов при больших дыханиях.
18. Выведите уравнение потерь паров горючих жидкостей из дышащих аппаратов при малых дыханиях.
19. От каких факторов зависит объем зоны ВОК, образующейся при эксплуатации резервуара с горючей жидкостью?
20. Как определить количество паров, выходящих из работающего под давлением аппарата при открывании крышки?

Тема 3. Оценка пожаровзрывоопасности среды в зоне выхода горючих веществ из поврежденного технологического оборудования и способы обеспечения пожарной безопасности

1. Какие виды повреждений технологического оборудования Вы знаете?
2. К каким последствиям может привести выход горючих веществ при повреждении технологического оборудования?
3. Что понимают под термином *авария*?
4. Как классифицируют аварии на производственных объектах в зависимости от возможных последствий?
5. Что понимают под термином эффект «*домино*»?
6. От каких параметров зависит масса выходящей наружу жидкости при локальных повреждениях аппаратов?

7. Что понимается под терминами *время срабатывания* и *время отключения* запорных устройств при аварийных ситуациях?
8. Назовите максимальную длительность испарения жидкости, допускаемую принимать в расчетных зависимостях?
9. Назовите параметры, от которых зависит интенсивность испарения паров жидкости с площади разлива?
10. Что учитывает коэффициент η при определении интенсивности испарения паров жидкости с площади разлива?
11. Назовите параметры, от которых зависит скорость движения воздуха в производственном помещении?
12. Что такое максимально возможная температура воздуха в помещении?
13. От каких параметров зависит масса горючего вещества, выходящего наружу при полном разрушении аппарата?
14. От каких параметров зависит площадь и форма разлива жидкости при полном разрушении вертикального стального резервуара?
15. Что понимается под термином *зона возможного затопления*?
16. Для чего необходимо прогнозировать площадь разлива жидкости и зону ВОК при аварийных ситуациях?
17. Что принимается за начало отсчета зоны ВОК?
18. Назовите минимальные значения расстояний зоны ВОК?
19. Назовите основные способы обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных объектов при локальном повреждении оборудования с горючими газами?
20. Назовите основные способы обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных объектов при полном разрушении оборудования с горючими газами?
21. Назовите основные способы обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных объектов при локальном повреждении оборудования с горючими жидкостями?

22. Назовите основные способы обеспечения пожаровзрывобезопасности производственных объектов при полном разрушении оборудования с горючими жидкостями?

1. Приведите формулу для определения скорости истечения жидкости через отверстие в трубопроводе или корпусе аппарата при постоянном давлении?

2. Чему равно расчетное время ручного отключения трубопроводов?

3. Чему равна площадь испарения 1 л смесей горючих жидкостей на полу производственного помещения, содержащих до 70% по массе растворителей?

4. Чему равна площадь испарения 1 л смесей горючих жидкостей на полу производственного помещения, содержащих более 70% по массе растворителей?

5. Чему равна площадь испарения горючих жидкостей на открытых производственных площадках, содержащих до 70% по массе растворителей?

6. Чему равна площадь испарения горючих жидкостей на открытых производственных площадках, содержащих более 70% по массе растворителей?

7. Приведите формулу расчета давления насыщенного пара при расчетной температуре горючей жидкости?

8. Приведите формулу для определения массы паров жидкости, участвующую в образовании зоны ВОК?

9. Назовите параметры, которыми определяется зона ВОК?

10. Назовите, как геометрически определяется зона ВОК?

11. Назовите параметры, от которых зависит горизонтальный размер зоны ВОК, образующейся при истечении СУГ из трубопроводов?

Тема 4. Оценка параметров пожаровзрывоопасности при авариях и пожарах на наружных технологических установках.

1. Укажите условия, необходимые для возникновения горения.
2. Укажите основные признаки классификации производственных источников зажигания и поясните их.
3. Что понимают под термином «*вынужденное воспламенение*»?
4. Что понимают под термином «*самовоспламенение*»?
5. Что понимают под термином «*самовозгорание*»?
6. В каком нормативном документе приводятся способы предотвращения образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания, а также методики определения пожароопасных параметров источников тепла?
7. В каком нормативном документе приводятся методы экспериментального определения минимальной энергии зажигания и температурных условий теплового самовозгорания веществ и материалов?
8. Укажите способы обеспечения пожарной безопасности при проектировании и эксплуатации аппаратов огневого действия.
9. На какие типы подразделяются искроулавливатели и искрогасители?
10. Укажите достоинства и недостатки искроулавливателей и искрогасителей различного типа.
11. Укажите способы обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.
12. Укажите способы обеспечения пожарной безопасности при проектировании и эксплуатации факельных установок.
13. Укажите способы обеспечения пожарной безопасности при проведении огневых ремонтных работ.
14. Перечислите способы предотвращения самовоспламенения и/или самовозгорания горючей среды.
15. Что такое фрикционные искры?

16. Почему при соударении деталей из цветных металлов не образуются искры?

17. Укажите способы предотвращения образования искр удара и трения при попадании в оборудование вместе с перерабатываемыми веществами и материалами инородных примесей.

18. Укажите способы предотвращения образования в горючей среде источников зажигания при выполнении ремонтных работ.

19. Какие применяются способы для предотвращения перегрева подшипников?

20. Какие применяются способы для предотвращения буксования лент и ремней?

21. Какие применяются способы для предотвращения наматывания волокнистых и солоmistых материалов на валы и оси машин и механизмов?

22. Какие применяются способы для предотвращения перегрева материалов в процессах резания?

23. Укажите причины повышения температуры узлов и деталей компрессоров при сжатии газов.

24. Какие применяются способы для обеспечения пожарной безопасности при сжатии газов?

25. Почему горючие смеси легче воспламеняются, чем горючие жидкости и твердые горючие материалы?

26. При каких условиях источник тепла может стать источником вынужденного зажигания горючей среды?

27. Какие параметры служат для оценки опасности постоянно действующего источника тепла как источника зажигания?

28. При каких условиях энергетический (тепловой) источник не станет источником вынужденного зажигания горючей среды?

29. При каких условиях не происходит самовозгорание веществ и материалов, склонных к тепловому самовозгоранию?

30. При эксплуатации каких видов оборудования образуются искры – тлеющие частицы несгоревшего топлива или сажевых отложений?

31. Перечислите условия, которые способствуют самовозгоранию горючих веществ и материалов при их контакте с воздухом.

32. Перечислите виды тепловых импульсов, которые могут привести к самовозгоранию горючих веществ и материалов.

33. Почему происходит нагревание частичек металла, образующихся при соударении подвижных частей машин о неподвижные части?

34. Укажите причины перегрева подшипников скольжения сильно-нагруженных и высокооборотистых валов и осей машин.

35. Какие опасности могут возникнуть при сжатии газов в компрессорах?

Тема 5. Предупреждение распространения пожара путем ограничения количества горючих веществ и материалов в производстве

1. Перечислите основные причины быстрого распространения пожара в условиях производства.

2. Перечислите условия, способствующие распространению пожара на производстве.

3. Какие решения пожарной безопасности служат для предупреждения крупных пожаров?

4. Какие требования предъявляются к аварийным емкостям системы аварийного слива?

5. Укажите особенности устройства системы аварийного слива из переменного по высоте сечения аппарата.

6. Укажите особенности устройства системы аварийного слива из группы аппаратов.

7. В чем заключается пожарная опасность процесса стравливания горючих паров и газов?

8. Для чего предназначена факельная система?

9. В каких случаях необходимо обустройства на производстве факельные системы?

10. Назовите мероприятия по предупреждению образования взрывоопасной смеси в факельной системе.

11. Какие аппараты применяются в системах аварийных выпусков газов и паров для предотвращения попадания в них капельной жидкости и твердых частиц?

1. Назовите основные направления по снижению количества горючих веществ на стадии проектирования.

2. Назовите решения по снижению количества горючих веществ при эксплуатации производства.

3. Назовите основные способы эвакуации горючих жидкостей.

4. Назовите основное условие процесса эвакуации ГЖ из опасной зо-ны.

5. Назовите основное отличие системы аварийного стравливания горючих паров и газов от системы аварийного слива горючих жидкостей.

6. Назовите основное условие для определения минимальной высоты выброса (свечи).

7. Назовите основной опасный фактор пожара, определяющий расстояние между факельным стволом и другими объектами предприятия.

8. Тема 6. Предупреждение распространения пожара по производственным коммуникациям

9. Характеристика отложений и механизм их образования.

10. Пожаровзрывоопасность отложений, образующихся в производственных коммуникациях.

11. Методы борьбы с горючими отложениями, применяемые на практике.
12. В каких случаях используются сухие огнепреградители?
13. Дать классификацию огнепреградителей.
14. Дать определение гидрозатвора.
15. Перечислите виды гидрозатворов.
16. Какие способы применяют для предотвращения распространения пожара по производственным коммуникациям с горючими отложениями?
17. С какой целью на производстве применяют рукавные фильтры?

Тема 7. Предупреждение распространения пожара по производственным коммуникациям

1. Какие условия способствуют распространению пламени по производственным коммуникациям?
2. Назовите принцип действия сухого огнепреградителя.
3. Что называется критическим диаметром канала огнепреградителя?
4. Как определить критический диаметр канала огнепреградителя?
5. Назовите принцип действия шнекового дозатора, в каких случаях он используется?
6. Назовите принцип действия автоматических заслонок и задвижек.

Тема 8. Предупреждение распространения пожара при разрушении технологического оборудования

1. Какие мероприятия включает в себя защита технологического оборудования от разрушения?
2. Как определить максимальное давление взрыва?

3. Для чего в технологическом оборудовании применяют взрывные мембраны?
4. Как классифицируются мембраны?
5. Принцип работы взрывного клапана с откидными дверцами.
6. В каких случаях в технологическом оборудовании применяют выщелкивающие мембраны?
7. Периодичность замены мембран на технологическом оборудовании.
8. Какие защитные устройства ограничивают растекание горючих жидкостей при аварии?
9. От каких параметров зависит величина давления взрыва?
10. Как определить максимально допустимое давление срабатывания взрывной мембраны?
11. Как определить площадь сечения сбросного отверстия мембраны?
12. Как определить толщину мембраны?
13. Какой слой горючих отложений называется критическим по условиям воспламенения?
14. Какой параметр принимают в качестве критерия готовности технологического аппарата к ремонтным работам?
15. Напишите уравнение теплового баланса и раскройте физический смысл входящих параметров.
16. Методика оценки ПВБ регламентных и ремонтных работ.
17. Объясните формулы для определения вероятности существования (предотвращения) источника зажигания, горючей среды и предотвращения пожара.

Тема 9. Пожарная опасность и способы обеспечения пожарной безопасности процессов нагрева и охлаждения горючих веществ

1. Назовите основополагающий принцип обеспечения пожарной безопасности.
2. Какие способы обеспечения пожаровзрывобезопасности (ПВБ) при производстве огневых ремонтных работ вы знаете?
3. С помощью каких технологических операций осуществляется предремонтная подготовка технологического оборудования?
4. Условия обеспечения ПВБ с помощью 1-го метода
5. Условия обеспечения ПВБ с помощью 3-го метода.
6. Каким образом можно добиться изоляции источника зажигания от горючей среды?
7. Основные источники зажигания при ремонте технологического оборудования?
8. Какой слой горючих отложений называется критическим по условиям воспламенения?
9. Какой параметр принимают в качестве критерия готовности технологического аппарата к ремонтным работам?
10. Напишите уравнение теплового баланса и раскройте физический смысл входящих параметров.
11. Методика оценки ПВБ регламентных и ремонтных работ.
12. Объясните формулы для определения вероятности существования (предотвращения) источника зажигания, горючей среды и предотвращения пожара.

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно отвечает на вопросы базового и повышенного уровней, умеет тесно увязывать теорию с практикой, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал дополнительной литературы, владеет разносторонними навыками

и приемами выполнения практических задач.

Оценка *«хорошо»* выставляется студенту, если он твердо знает материал как базового, так и повышенного уровней, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками сопоставления теории и практики.

Оценка *«удовлетворительно»* выставляется студенту, если он имеет знания только материала базового уровня, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при сопоставлении теории и практики.

Оценка *«неудовлетворительно»* выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические задания. Отметка *«неудовлетворительно»* выставляется также, если обучающийся отказался отвечать на вопросы.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя собеседование по вопросам тем дисциплины.

Вопросы повышенного уровня предназначены не только для проверки знаний основного и дополнительного материала, но и оценки способности студента применять теоретические знания при решении практических задач, а также знания статистических данных и умения их анализировать.

Данное оценочное мероприятие проводится на каждом практическом и (или) семинарском занятии на основании материалов и знаний, полученных на лекциях, а также при изучении основной и дополнительной литературы. Для

подготовки к данному оценочному мероприятию студенту необходимо подготовить устные ответы на вопросы собеседования, либо законспектировать данные ответы в тетрадь (не обязательно)

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования материалами лекций, основной и дополнительной литературы, а также интернет-ресурсов.

При проверке задания, оцениваются:

- правильность ответов;
- чёткое знание терминологии;
- умение грамотно, четко и последовательно излагать материал;
- использование дополнительной литературы при подготовке;
- умение анализировать теоретический материал и сопоставлять его с практикой;
- знание статистических данных об изучаемых процессах и явлениях;
- умение приводить конкретные примеры.

Оценочный лист проверки знаний (собеседование)

Критерии оценки	Оценка			
	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
правильность ответов				
чёткое знание терминологии				
умение грамотно, четко и последовательно излагать материал				
использование дополнительной литературы при подготовке				
умение анализировать теоретический материал и сопоставлять его с практикой				
знание статистических данных об изучаемых процессах и явлениях				
умение приводить конкретные примеры				

