Кафедра техносферной безопасности

Оценка вероятности повреждения промышленных зданий от взрыва облака топливовоздушной смеси

2021

Выбор задания

Вариант	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Горючее вещество	Ацетилен	Октан	Окись этилена	Бутан	Пропан	Диметиловый эфир	Ацетон	Бензин	Гексан	Винилхлорид
Агрегатное состояние ТВС	газовая смесь	гетерогенная смесь	газовая смесь	газовая смесь	газовая смесь	газовая смесь	гетерогенная смесь	гетерогенная смесь	гетерогенная смесь	газовая смесь
Средняя концентрация горючего вещества в облаке ТВС, г/м³	82.6	77.2	139.8	74.4	72.7	102.6	118.6	78.6	76.3	198.3
Масса горючего вещества в облаке, кг	0,8	1,2	0,6	1,1	0,77	0,54	1,5	0,68	1,0	0,77
Информация об окружающем пространстве	Вид 1	Вид 2	Вид 4	Вид 3	Вид 1	Вид 4	Вид 3	Вид 2	Вид 1	Вид 2
Расстояние до центра облака, м	5	7	6	9	5,5	4	8	3,2	12,5	9,5

Выбор задания

Вариант	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Горючее вещество	метилбензол	аммиак	Бензол	Декан	Дизтопливо	Керосин	Метан	Нафталин (растворенный)	Окись углерода	Формальдегид
Агрегатное состояние ТВС	гетерогенная смесь	газовая смесь	газовая смесь	газовая смесь	гетерогенная смесь	гетерогенная смесь	газовая смесь	гетерогенная смесь	газовая смесь	газовая смесь
Средняя концентрация горючего вещества в облаке ТВС, г/м³	86.0	152.9	139.8	77.8	79.9	80.3	20	96.0	340.5	213.8
Масса горючего вещества в облаке, кг	0,8	1,2	0,6	1,1	0,77	0,54	1,5	0,68	1,0	0,77
Информация об окружающем пространстве	Вид 2	Вид 3	Вид 4	Вид 1	Вид 3	Вид 2	Вид 4	Вид 1	Вид 4	Вид 2
Расстояние до центра облака, м	15	13	6,5	9	14	18	8	11	12,5	9,5

Выбор задания

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Горючее вещество	Амиловый спирт	Изобутиловый спирт	Изопропиловый спирт	Циклогексан	Этиловый спирт	Метиловый спирт	Диэтиловый эфир	Этилен	Этан	Хлорбензол
Агрегатное состояние ТВС	гетерогенная смесь	гетерогенная смесь	гетерогенная смесь	гетерогенная смесь	гетерогенная смесь	гетерогенная смесь	газовая смесь	газовая смесь	газовая смесь	гетерогенная смесь
Средняя концентрация горючего вещества в облаке ТВС, г/м	98.2	102.6	109.7	78.5	123.4	161.3	102.6	75.1	69.7	134.2
Масса горючего вещества в облаке, кг	0,8	1,1	0,45	0,7	0,77	0,33	1,3	0,56	1,3	1,7
Информация об окружающем пространстве	Вид 2	Вид 3	Вид 4	Вид 3	Вид 3	Вид 2	Вид 4	Вид 3	Вид 4	Вид 3
Расстояние до центра облака, м	7	13	9,5	12	14	18	8	11	6	3,3

Определение эффективного энергозапаса ТВС

Если фактическая концентрация горючего вещества меньше или равна стехиометрической, тогда эффективный энергозапас горючей смеси определяется по формуле

$$E = M_г q_г \text{ при } C_г \le C_{ст}$$

где $M_г$ – масса горючего вещества содержащегося в облаке, кг;

$q_г$ – теплота сгорания горючего, МДж/кг.

Иначе

$$E = M_г q_г C_{ст}/C_г \text{ при } C_г > C_{ст}.$$

Объем газового облака можно рассчитать по формуле

$$V = M_г/C_{ст}.$$

где $C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация горючего вещества, г/м³.

Определение эффективного энергозапаса ТВС

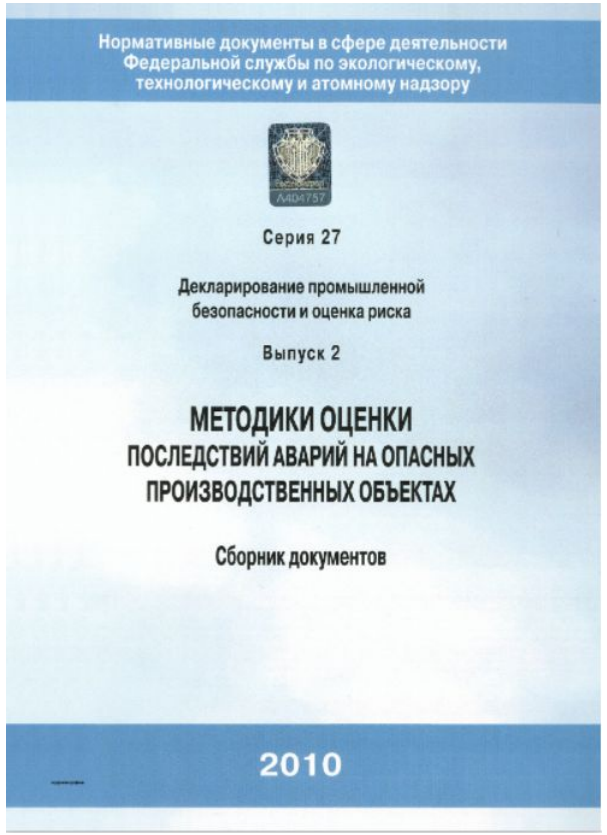
Теплота сгорания горючего вещества в топливовоздушной смеси определяется по формуле

$$q_г = 44\beta \text{ МДж/кг.}$$

Корректировочный параметр β определяется в соответсвии «Методикой оценки последствий аварий на опасных производственных объектах». Для выбранного вещества необходимо определить его класс опасности.

Топливовоздушные смеси, способные к образованию горючих смесей с воздухом по своим взрывоопасным свойствам делят на четыре класса:

- особо чувствительные;
- чувствительные;
- среднечувствительные;
- слабочувствительные.



Классификация горючих веществ по степени чувствительности

Класс 1		Класс 2		Класс 3		Класс 4	
Особо чувствительные вещества		**Чувствительные вещества**		**Средне-чувствительные вещества**		**Слабо-чувствительные вещества**	
(Размер детонационной ячейки менее 2 см)		(Размер детонационной ячейки от 2 до 10 см)		(Размер детонационной ячейки от 10 до 40 см)		(Размер детонационной ячейки больше 40 см)	
1	2	3	4	5	6	7	8
	β		β		β		β
Ацетилен	1,1	Акрилонитрил	0,67	Ацетальдегид	0,56	Аммиак	0,42
Винилацетилен	1,03	Акролеин	0,62	Ацетон	0,65	Бензол	0,88
Водород	2,73	Бутан	1,04	Бензин	1	Декан	1
Гидразин	0,44	Бутилен	1	Винилацетат	0,51	Дизтоплиро	1
Изопропилнитрат	0,41	Бутадиен	1	Винилхлорид	0,42	о-дихлорбензол	0,42
Метилацетилен	1,05	1,3-пентадиен	1	Гексан	1	Додекан	1
Нитрометан	0,25	Пропан	1,05	Генераторный газ	0,38	Керосин	1
Окись пропилена	0,7	Пропилен	1,04	Изооктан	1	Метан	1,14

1	2	3	4	5	6	7	8
	β		β		β		β
Окись этилена	0,62	Сероуглерод	0,32	Метиламин	0,7	Метилбензол	1
Этилнитрат	0,3	Этан	1,08	Метилацетат	0,53	Метилмеркаптан	0,53
		Этилен	1,07	Метилбутилкетон	0,79	Метилхлорид	0,12
		ШФЛУ	1	Метилпропилкетон	0,76	Нафталин	0,91
		Диметиловый эфир	0,66	Метилэтилкетон	0,71	Окись углерода	0,23
		Дивиниловый эфир	0,77	Октан	1	Фенол	0,92
		Метилбутиловый эфир	—	Пиридин	0,77	Хлорбензол	0,52
		Диэтиловый эфир	0,77	Сероводород	0,34	Этилбензол	0,90
		Диизопропиловый эфир	0,82	Метиловый спирт	0,52	Дихлорэтан	0,25
				Этиловый спирт	0,62	Трихлорэтан	0,14
				Пропиловый спирт	0,69		

1	2	3	4	5	6	7	8
				Амиловый спирт	—		
				Изобутиловый спирт	0,79		
				Изопропиловый спирт	0,69		
				Циклогексан	1		
				Этилформиат	0,46		
				Этилхлорид	0,43		
				Сжиженный природный газ	1		
				Кумол	0,84		
				Печной газ	0,09		
				Циклопропан	1		
				Этиламин	0,8		

Классификация окружающего пространства

- вид 1 – наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой можно ожидать формирование турбулентных струй с размером не менее трех размеров детонационной ячейки данной смеси.
- вид 2 – сильно загроможденное пространство, наличие полузамкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятсвий.
- вид 3 - средне загроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк.
- вид 4 - слабо загроможденно

Определение ожидаемого режима взрывного превращения

Известны два основных режима протекания быстропротекающих процессов — детонация и дефлаграция. Для оценки параметров действия взрыва возможные режимы взрывного превращения ТВС разбиты на шесть диапазонов по скоростям их распространения, причем пять из них приходятся на процессы
дефлаграционного горения ТВС, поскольку характеристики процесса горения со скоростями фронта меньшими 500 м/с имеют существенные качественные различия. Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения определяется с помощью экспертной таблицы в зависимости от класса горючего вещества и вида окружающего пространства

Класс горючего вещества	Вид окружающего пространства			
	1	2	3	4
	Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения			
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

Определение ожидаемого режима взрывного превращения

Разбиение режимов взрывного превращения ТВС по диапазонам скоростей:

- Диапазон 1 Детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и больше;
- Диапазон 2 Дефлаграция, скорость фронта пламени 300—500 м/с;
- Диапазон 3 Дефлаграция, скорость фронта пламени 200—300 м/с;
- Диапазон 4 Дефлаграция, скорость фронта пламени 150—200 м/с;
- Диапазон 5 Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением

$$V_г = k_1 M_г^{1/6},$$

где k_1 – константа скорости, 43;

- Диапазон 6 Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением

$$V_г = k_2 M_г^{1/6},$$

где k_2 – константа скорости, 26.

Расчет безразмерного расстояния

Для вычисления параметров воздушной ударной волны на заданном расстоянии R от центра облака при детонации облака ТВС предварительно рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по соотношению

$$R_x = R/(E/P_0)^{1/3}.$$

где R – заданное расстояние до центра облака, м;
P_0 – атмосферное давление, 101,3 кПа.

Детонация

В случае детонации облака газовой топливовоздушной смеси безразмерное давление P_x и безразмерный импульс фазы сжатия I_x определяются по формуле

$$P_x = 0{,}125/R_x + 0{,}137/R_x^2 + 0{,}023/R_x^3$$

$$I_x = 0{,}022/R_x$$

В случае детонации облака гетерогенной ТВС расчет производится по следующим формулам

$$\ln(P_x) = -1{,}124 - 1{,}66\ln(R_x) + 0{,}26\,(\ln(R_x))^2$$

$$\ln(I_x) = -3{,}4217 - 0{,}898\ln(R_x) - 0{,}0096\,(\ln(R_x))^2$$

Дефлаграция

В случае дефлаграционного взрывного превращения облака топливовоздушной смеси к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса положительной фазы, добавляются скорость видимого
фронта пламени и степень расширения продуктов сгорания.
Для газовых смесей принимается σ = 7, для гетерогенных — σ = 4. Для расчета параметров ударной волны при дефлаграции гетерогенных облаков величина эффективного энергозапаса смеси умножается на коэффициент (σ — 1)/ σ.

Безразмерные давление и импульс фазы сжатия определяются по соотношениям

$$P_{x1} = (V_г/C_0)^2((\sigma - 1)/\sigma)(0{,}83/R_x - 0{,}14/R_x^2);$$

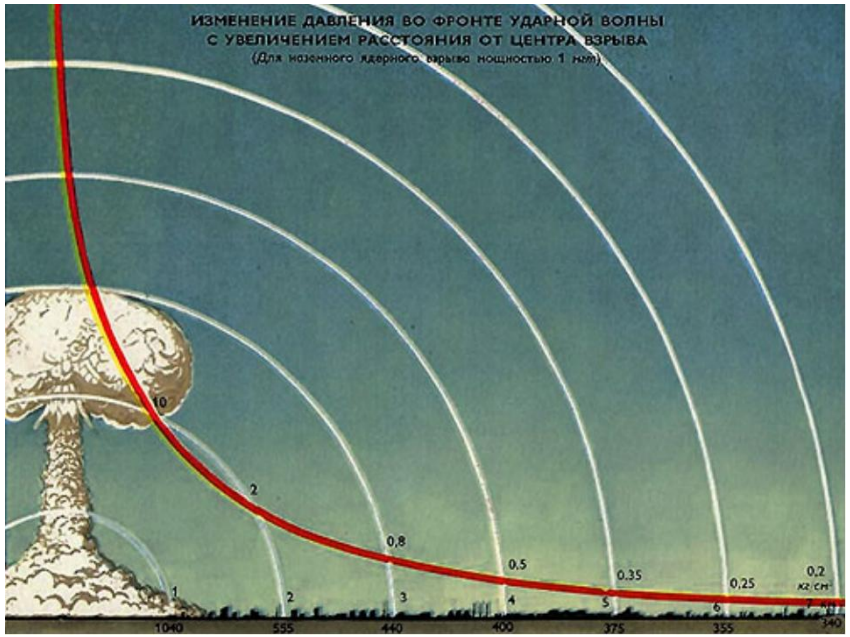
$$I_{x1} = (V_г/C_0)((\sigma - 1)/\sigma)(1 - 0{,}4(\sigma - 1)V_г/\sigma C_0)\times$$
$$\times(0{,}06/R_x + 0{,}01/R_x^2 - 0{,}0025/R_x^3).$$

Максимальное избыточное давление и импульс фазы сжатия ударных волн

После определения безразмерных величин давления и импульса фазы сжатия вычисляются соответствующие им размерные величины

$$\Delta P = P_x P_0;$$

$$I = 10 I_x (P_0)^{2/3} E^{1/3} / C_0.$$



Оценка вероятности повреждения промышленных зданий от взрыва облака ТВС

Вероятность повреждений стен промышленных зданий, при которых возможно восстановление зданий без их сноса, может оцениваться по соотношению

$$Pr_1 = 5 - 0{,}26 \ln V_1.$$

Фактор V_1, рассчитывается с учетом перепада давления в волне и импульса статического давления по соотношению

$$V_1 = (17\,500/\Delta P)^{8{,}4} + (290/I)^{9{,}3}.$$

Вероятность разрушений промышленных зданий, при которых здания подлежат сносу, оценивается по соотношению

$$Pr_2 = 5 - 0{,}22 \ln V_2.$$

В этом случае фактор V_2 рассчитывается по формуле

$$V_2 = (40\,000/\Delta P)^{7{,}4} + (460/I)^{11{,}3}.$$

Спасибо за внимание!