

# Прогнозирование масштабов заражения АХОВ при авариях на химически опасных объектах

## 1. Цель работы

1. Изучить методику прогнозирования масштаба заражения АХОВ при авариях на химически опасных объектах (ХОО).
2. Провести оценку обстановки при авариях на ХОО по реальным условиям.

## 2. Термины и определения

**АХОВ** (аварийно химически опасное вещество) - это опасное химическое вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (разливе), которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях (токсодозах).

**ХОО** (химически опасные объекты) – объекты, при аварии или разрушении, которых, могут произойти массовые поражения людей, животных и растений.

**Зона заражения** – территория, на которой концентрация токсичного вещества превышает значение ПДК.

**Площадь зоны фактического заражения АХОВ ( $S_{\phi}$ )** – территория, заражённая АХОВ в опасных для жизни пределах.

**Площадь зоны возможного заражения ( $S_{\text{в}}$ )** – территория, в пределах которой под воздействием направления ветра может перемещаться облако АХОВ.

**Первичное облако** – облако АХОВ, образующееся в результате мгновенного (1-3 мин) перехода в атмосферу части АХОВ из ёмкости при её разрушении.

**Вторичное облако** – облако АХОВ, образующееся в результате испарения разлившегося вещества с подстилающей поверхности.

**Эквивалентное количество АХОВ** – такое количество хлора, масштаб заражения которым при инверсии эквивалентен масштабу заражения при данной степени вертикальной устойчивости атмосферы.

**Пороговая токсодоза** – ингаляционная токсодоза, вызывающая начальные симптомы поражения.

## 3. Общие положения

Масштабы заражения АХОВ в зависимости от их химических, физических свойств и агрегатного состояния рассчитываются для первичного и вторичного облаков:

- для сжиженных газов - отдельно для первичного и вторичного облака;
- для сжатых газов - для первичного облака;
- для жидкостей, с температурой кипения выше температуры окружающей среды - для вторичного облака.

Исходные данные для прогнозирования масштабов заражения АХОВ:

- общее количество АХОВ на объекте и данные о размещении их запасов в технологических ёмкостях и трубопроводах;
- количество АХОВ, выброшенных в атмосферу, характер их разлива на подстилающую поверхность («свободно» или «в поддон» или «в обваловку»);
- высота поддона или обваловки складских ёмкостей;

- метеорологические условия: температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м (на высоте флюгера), степень вертикальной устойчивости атмосферы.

Принятые допущения:

- При заблаговременном прогнозировании масштабов заражения на случай производственных аварий в качестве исходных данных рекомендуется принимать: выброс АХОВ ( $Q_0$ ) – количество АХОВ в максимальной по объёму единичной ёмкости (технологической, складской, транспортной и др.), метеорологические условия инверсия, скорость метра 1 м/с.

- Для прогнозирования масштабов заражения непосредственно после аварии должны браться конкретные данные о количестве выброшенного (разлившегося) АХОВ и реальные метеоусловия.

- Внешние границы зоны заражения рассчитываются по пороговой токсодозе при ингаляционном воздействии на организм.

- Ёмкости, содержащие АХОВ при авариях разрушаются полностью.

- Толщина слоя жидкости АХОВ, разлившегося свободно на подстилающей поверхности, принимается равной 0,05 м по всей площади разлива; для АХОВ разлившихся в поддон или обваловку, определяется следующим образом:

- а) при разливах из ёмкостей имеющих самостоятельный поддон (обваловку):

$$h = H - 0,2,$$

где:  $H$  - высота поддона (обваловки), м; (см. табл. 1)

- б) при разливах из ёмкостей, расположенных группой, имеющих общий поддон (обваловку):

$$h = Q_0/F,$$

где:  $Q_0$  – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т;

$d$  – плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup>;

$F$  – реальная площадь разлива в поддон (обваловку), м .

- Предельное время пребывания людей в зоне заражения и продолжительность сохранения неизменным метеорологических условий составляет 4 ч. По истечении указанного времени прогноз обстановки должен уточняться.

- При авариях на газопроводах и продуктопроводах выброс АХОВ принимается равным максимальному количеству АХОВ, содержащемуся в трубопроводе между отсекающими, например, для аммиакапроводов – 275-500 т.

### **Определение полных характеристик выброса АХОВ.**

**Количественные характеристики выброса АХОВ для расчёта масштабов заражения определяются по их эквивалентным значениям**  
**Определяют эквивалентное количество АХОВ в тоннах,**  
**по первичному облаку ( $Q_{\Sigma 1}$ )**

$$Q_{\Sigma 1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \quad (1)$$

где:  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (табл. 1);  
 $K_3$  – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе АХОВ (табл. 1);  
 $K_5$  – коэффициент, учитывающий СВУА, принимается равным: для инверсии - 1, для изотермии - 0,23, для конвекции - 0,08;  
 $K_7$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (табл. 1),  
 $Q_0$  – количество выброшенного или вылитого АХОВ, т.

**Определяем эквивалентное количество АХОВ в тоннах,**  
**по вторичному облаку ( $Q_{\Sigma 2}$ ) по формуле:**

$$Q_{\Sigma 2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot d} \quad (2)$$

где:  $K_2$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (табл. 1);  
 $K_4$  – коэффициент, учитывающий скорость ветра (табл. 3);  
 $K_6$  – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего, после аварии, определяется из соотношения:  
 $K_6 = N^{0,8}$  при  $N < t$   
 $K_6 = t^{0,8}$  при  $N > t$   
 $K_6 = 1$  при  $t < 1$   
где:  $N$  – время прошедшее после начала аварии, ч;

$$t - \text{продолжительность испарения АХОВ, ч определяется } t = \frac{h \cdot d}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}; \quad (3)$$

$h$  – толщина слоя АХОВ, м (толщина слоя жидкости, разлившейся свободно принимается равной 0,05 м; разлившихся в поддон или обваловку –  $h = H - 0,2$  с высотой  $H$ , м)  
 $d$  – плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup>

### **Расчёт глубины зоны заражения ( $r$ , км)**

**Определяем полную глубину заражения ( $\Gamma$ , км) первичным (вторичным) облаком**

Для сжиженных газов:

$$\Gamma = \Gamma_{\text{мак}} + 0,5\Gamma_{\text{мин}}, \quad (4)$$

где:  $\Gamma_{\text{мак}}$ ,  $\Gamma_{\text{мин}}$  – глубина заражения по первичному и вторичному облаку, км. Значения  $\Gamma_{\text{мин}}$  и  $\Gamma_{\text{мак}}$  определяются по данным табл. 1.4. с использованием величин  $Q_{\Sigma 1}$ ,  $Q_{\Sigma 2}$ . При этом за  $\Gamma_{\text{мак}}$  принимается большее из двух сравниваемых значений табличной глубины заражения.

Для сжатых газов:

$$\Gamma = \Gamma_1, \quad (5)$$

где  $\Gamma = \Gamma_1$  – глубина заражения по первичному облаку, соответствующая значению  $Q_{\Sigma 1}$ , км (табл. 4).

Для жидкостей с температурой кипения выше температуры окружающей среды:

$$\Gamma = \Gamma_2, \quad (6)$$

где:  $\Gamma_2$  – глубина заражения по вторичному облаку, соответствующая значению  $Q_{\Sigma 2}$ , км(табл.4).

**Определяем предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс ( $\Gamma_n$ , км):**

$$\Gamma_n = N \cdot V, \quad (7)$$

где:  $N$  – время прошедшее после аварии;

$V$  – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха, км/ч (табл. 5)

**Определение площади заражения АХОВ**  
*Определяем площадь зоны возможного заражения ( $S_B$ , км<sup>2</sup>)  
первичным (вторичным) облаком*

$$S_B = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma_p^2 \cdot f, (8)$$

где:  $f$  – угловые размеры зоны возможного заражения, град. (табл. 6)

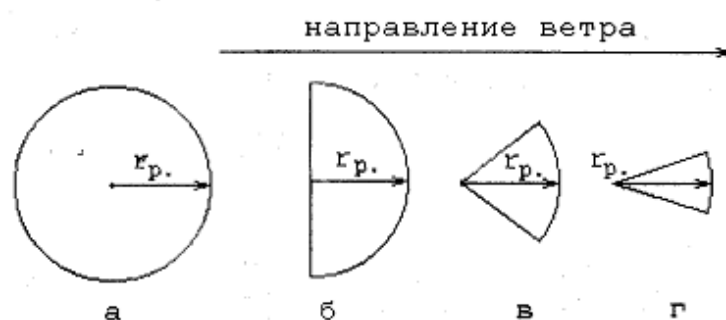
*Определяем площадь зоны фактического заражения:*

$$S_{\text{ф}} = K_8 \cdot \Gamma_p^2 \cdot N^{0,2}, (9)$$

где:  $K_8$  – коэффициент, зависящий от СВУА, равный: при инверсии - 0,081, изотермии - 0,133, конвекции - 0,295.

*Определение границ возможных зон поражения  
производится графическим способом.*

Зона возможного поражения может иметь форму окружности, полуокружности или сектора, имеющих угловые размеры ( $f$ ) согласно табл. 6 и радиус, равный расчетной глубине заражения ( $\Gamma_p$ ) с центром, совпадающим с источником заражения (рис. 1.)



*Рис. 1. Вид зон заражения АХОВ в зависимости от скорости ветра (м/с)  
а) менее 0,5; б) от 0,6 до 1; в) от 1,1 до 2; г) более 2*

В пределах зон заражения отмечают объекты (предприятия, населенные пункты и т.д.), пребывание в которых опасно из-за вредного воздействия АХОВ. Границы этих объектов и являются границами зон возможного заражения. Графическое построение выполняется на карте (схеме) местности. Направление перемещения облака АХОВ при заблаговременном прогнозировании совпадает с господствующим направлением ветра по каждому сезону (зима, лето, осень, весна) или принимается по направлению в момент аварии.

Таблица 1

## Характеристики АХОВ и вспомогательные коэффициенты

№ варианта	Наименование АХОВ	Плотность АХОВ, т/м <sup>3</sup>		Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза мг·мин/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
		газ	жидкость			K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>7</sub> для температуры воздуха (°С)				
									-40	-20	0	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Аммиак хранение под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	<u>0</u> 0,9	<u>0,3</u> 1	<u>0,6</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1,4</u> 1
2	Аммиак изотермическое хранение	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	<u>0</u> 0,9	<u>1</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1</u> 1
3	Водород фтористый	-	0,989	19,52	4	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
4	Водород хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2	0,28	0,037	0,30	<u>0,4</u> 1	<u>0,6</u> 1	<u>0,8</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1,2</u> 1
5	Метилмеркаптан	-	0,867	5,95	1,7	0,06	0,043	0,353	<u>0</u> 0,1	<u>0</u> 0,3	<u>0</u> 0,8	<u>1</u> 1	<u>2,4</u> 1
6	Окислы азота	-	1,491	21,0	1,5	0	0,040	0,40	0	0	0,4	1	1
7	Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	<u>0</u> 0,2	<u>0</u> 0,5	<u>0,3</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1,7</u> 1
8	Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	<u>0,3</u> 1	<u>0,5</u> 1	<u>0,8</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1,2</u> 1
9	Сероуглерод	-	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
10	Соляная кислота (концентрированная)	-	1,198	-	2	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
11	Формальдегид	-	0,815	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	<u>0</u> 0,4	<u>0</u> 1	<u>0,5</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1,5</u> 1
12	Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	<u>0</u> 0,1	<u>0</u> 0,3	<u>0</u> 0,7	<u>1</u> 1	<u>2,7</u> 1
13	Хлор	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	<u>0</u> 0,9	<u>0,3</u> 1	<u>0,6</u> 1	<u>1</u> 1	<u>1,4</u> 1

Примечания:

1. Плотности АХОВ в графах 3 и 4 приведены для атмосферного давления; при давлении в емкости, отличном от атмосферного, плотности АХОВ определяются путем умножения данных граф 3 или 4 на значение давления в кгс/см<sup>2</sup>.

2. Значения K<sub>7</sub> в графах 10 - 14 в числителе приведены для первичного облака, в знаменателе - для вторичного облака.

3. В графе 6 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно по соотношению:  $D = 240 \cdot K \cdot ПДК_{рз}$ , где D - токсодоза, мг·мин/л; ПДК<sub>рз</sub> - ПДК рабочей зоны (мг/л) по ГОСТ 12.1.005-88; K = 5 для раздражающих ядов (помечены одной звездочкой); K = 9 для всех прочих ядов (помечены двумя звездочками).

4. Значения K<sub>1</sub> для изотермического хранения аммиака приведено для случая разлива в поддон.

Продолжение таблицы 1

№ варианта	Наименование АХОВ	Количество АХОВ, кг	Агрегатное состояние АХОВ	Условия хранения (под давлением м), кгс/см <sup>2</sup>	Температура воздуха, Т °С	Скорость ветра, м/с	Время от начала аварии, ч	Время суток	Облачность	Расстояние границы объекта от возможного места аварии, м	Ширина санитарной зоны, м	Характер разлива АХОВ	Высота поддона (обвалования), м
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Аммиак	20000	Сжиженный газ	6	0	1	20 мин	Ночь	Ясно	300	500	Обвалование	1
2	Аммиак	10000 тонн	Сжиженный газ	Изотермическое хранение	-20	1	5	День	Облачно	350	2500	Поддон	1,5
3	Водород фтористый	10000	Жидкость	Атмосферное	20	1	2	Вечер	Облачно	200	1000	Обвалование	1
4	Водород хлористый	20000	Сжатый газ	6	0	1	1	Ночь	Ясно	150	800	Обвалование	1
5	Метилмеркаптан	3000	Сжиженный газ	Атмосферное	20	2	2	Утро	Ясно	300	2000	Свободно	0
6	Окислы азота	10000	Жидкость	Атмосферное	0	4	4	Утро	Ясно	150	900	Поддон	0,8
7	Сернистый ангидрид	5000	Сжиженный газ	6	20	6	4	Вечер	Ясно	100	1200	Обвалование	1
8	Сероводород	30000	Сжатый газ	Атмосферное	0	5	5	Утро	Облачно	25	600	Свободно	0
9	Сероуглерод	1000 тонн	Жидкость	Атмосферное	20	7	6	Вечер	Облачно	200	450	Обвалование	1
10	Соляная кислота (концентрированная)	50000	Жидкость	Атмосферное	0	4	2	Утро	Облачно	450	800	Обвалование	1,5
11	Формальдегид	3000	Жидкость	Атмосферное	0	3	4	Ночь	Облачно	50	450	Обвалование	1
12	Фосген	20000	Жидкость	Атмосферное	0	9	5	Утро	Облачно	500	700	Поддон	0,8
13	Хлор	15000	Сжиженный газ	Атмосферное	0	10	4	Вечер	Облачно	300	3000	Свободно	-

Таблица 2

*Степени вертикальной устойчивости атмосферы по прогнозу погоды*

Скорость ветра м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно	Пас-но	Ясно	Пас-но	Ясно	Пас-но	Ясно	Пас-но
Менее 2	Ин	Из	Из(Ин)	Из	К(Из)	Из	Ин	Из
2-3,9	Ин	Из	Из(Ин)	Из	Из	Из	Ин	Из
Более 4	Из	Из	Из	Из	Из	Из	Из	Из

Примечание: Ин - инверсия, Из - изотермия, К - конвекция.

В скобках - при снежном покрове.

Утро - время в течение 2-х часов после восхода солнца

Вечер - время в течение 2-х часов после захода солнца.

Инверсия в атмосфере, характеризуется повышением температуры воздуха по мере увеличения высоты. Инверсия в приземном слое воздуха чаще всего образуется в безветренные ночи в результате интенсивного излучения земной поверхностью. Инверсия препятствует рассеиванию воздуха по высоте и создает наиболее благоприятные условия для сохранения высоких концентраций АХОВ.

Изотермия в атмосфере, характеризуется стабильным равновесием воздуха, она наиболее типична для пасмурной погоды, но может возникнуть и в утренние или вечерние часы. Изотермия препятствует рассеиванию воздуха по высоте и создает наиболее благоприятные условия для сохранения высоких концентраций АХОВ.

Конвекция в атмосфере, характеризуется вертикальным перемещением воздуха с одних высот на другие. Наблюдаются восходящие потоки воздуха, рассеивающие зараженное облако, что создает неблагоприятные условия для распространения АХОВ. Наблюдается в летние месяцы.

Таблица 3

*Значение коэффициента  $K_4$  в зависимости от скорости ветра*

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$K_4$	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68

Таблица 5

*Скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха*

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15
Скорость переноса км/ч	Инверсия													
	5	10	16	21										
	Изотермия													
	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	82	88
Скорость переноса км/ч	Конвекция													
	7	14	21	28										

Таблица 6

*Угловые размеры зоны возможного заражения АХОВ в зависимости от скорости ветра*

Скорость ветра, м/с	менее 0,5	0,6-1	1,1-2	более 2
Градусы	360	180	90	45

Глубины зон возможного заражения АХОВ, км

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т															
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	70	100	300	500	1000
1	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,2	29,56	38,13	52,67	65,23	81,91	168	231	363
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,7	121	189
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,6	25,21	31,3	61,5	84,5	130
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,8	48,18	66	101
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,536	8,19	10,33	13,88	16,89	20,8	40,1	54,7	83,6
6	0,15	0,34	0,43	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,8	18,13	34,7	47,1	71,1
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,50	6,50	8,14	10,9	13,2	16,2	30,7	41,6	63,16
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,5	56,7
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,10	11,03	13,5	25,4	34,14	51,6
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31	6,50	8,50	10,23	12,54	23,5	31,6	47,53
15	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,70	17,6	23,5	35,0

Примечание: При скорости ветра более 15 м/с размеры зон заражения принимать как при скорости 15 м/с. При скорости ветра менее 1 м/с размеры зоны заражения принимать как при скорости 1 м/с.