

Н.С. Артемьев, А-Б.Ш. Гаплаев

(Академия ГПС МЧС России; e-mail: info@academygpps.ru)

МЕТОДЫ РАСЧЁТА СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ВОДЯНОЙ ЗАВЕСЫ ПРИ ВЫБРОСЕ (РАЗЛИВЕ) АММИАКА

Изложены методы расчёта сил и средств для постановки водяной завесы при выбросе (разливе) аммиака. Результаты расчёта могут быть использованы в алгоритме работы пожарно-спасательных подразделений по созданию водяной завесы.

Ключевые слова: аммиак, водяная завеса.

N.S. Artem'ev, A-B.Sh. Gaplaev

METHOD OF CALCULATING OF MEANS AND FORCE FOR THE PRODUCTION OF WATER CURTAIN PROVIDED BY SPILL OF AMMONIA

The methods of calculation of means and force for the production of water curtain provided by spill of ammonia are given. The research calculation can be used in the algorithm of the successful work of the fire and rescue departments to product water curtain.

Key words: ammonia, water curtain.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 сентября 2014 г.

Применение водяной завесы для ограничения распространения облака **аварийно химически опасного вещества (АХОВ)** и его осаждения является эффективной мерой защиты людей, животных и растительности от химического заражения. Глубина зоны заражения и её формы определяются расчётным путём [1].

Фактическая зона заражения может быть значительной по длине и ширине. Водяная завеса образует преграду, препятствующую распространению аммиачно-воздушной смеси. Эта преграда оказывает двойное воздействие: частично связывает аммиак за счёт его растворения в воде, а также создаёт дополнительные воздушные потоки, способствующие турбулизации и рассеиванию токсичного облака.

Проведение работ пожарно-спасательными подразделениями по созданию водяной завесы происходит в условиях формирования вторичного облака АХОВ [1].

Эффективность водяной завесы по снижению концентрации токсичных веществ в воздухе зависит от правильного выбора схемы постановки завесы, параметров применяемых технических средств, площади разлива, скорости ветра, концентрации аммиака в приземном слое.

При расчёте сил и средств необходимо учитывать следующее:

- масштаб заражения рассчитывается по первичному облаку в случае газообразного выброса и по вторичному облаку при разливе АХОВ;

- при прогнозировании аварии в качестве исходных данных рекомендуется принимать за величину выброса аммиака – его количество в максимальной по объёму единичной ёмкости, скорость ветра – 1 м/с и инверсионное состояние воздушных масс;

- количество аммиака, попавшего во внешнюю среду (тонн) и характер разлива ("в обваловку", "в поддон", "свободно"), площадь разлива;

- высоту обваловки (поддона) складских ёмкостей, м;

- температуру наружного воздуха, °С;

- внешние границы зоны заражения, км;

- предельно допустимую концентрацию аммиака для человека.

Толщина слоя разлива аммиака из резервуара (ёмкости) в обваловании равна:

$$h_{сл} = H - 0,2, \quad (1)$$

где H – высота обвалования, м.

Продолжительность испарения всего разлившегося аммиака определяется по формуле:

$$\tau_{исп} = \frac{h_{сл} \cdot \rho_{xb}}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}, \quad (2)$$

где K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ, определяется по табл. 1;

K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра, определяется по табл. 2;

$h_{сл}$ – толщина слоя аммиака, м;

ρ_{xb} – плотность химического вещества, определяется по табл. 1, $т/м^3$.

Таблица 1

№ п/п	АХОВ	Плотность АХОВ, $т/м^3$		Температура кипения, °С	Пороговая токсодоза, $\frac{мг \cdot мин}{л}$	Значение вспомогательных коэффициентов							
		газ	жидкость			K_1	K_3	K_3	K_3 для температуры воздуха, °С				
									-40	-20	0	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Акролеин	-	0,839	52,7	0,2*	0	0,013	3,0	0,1	0,2	0,4	1	2,2
2	Аммиак												
	Хранение под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	0	0,3	0,6	1	1,4
	Изотермическое хранение	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	0,9	1	1	1	1
3	Ацетонитрил	-	0,786	81,6	21,6**	0	0,004	0,028	0,3	0,5	0,8	1	1,2
4	Ацетонциангидрин	-	0,932	120	1,9**	0	0,002	0,316	0	0	0,3	1	1,5
5	Водород мышьяковистый	0,0035	1,64	-62,47	0,2**	0,17	0,054	3,0	0,3	0,5	0,8	1	1,2
									1	1	1	-1	-1
6	Водород фтористый	-	0,989	19,52	4	0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
7	Водород хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2	0,28	0,037	0,30	0,4	0,6	0,8	1	1,2
									1	1	1	-1	-1

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8	Водород бромистый	0,0036	1,490	-66,77	2,4*	0,13	0,055	0,25	0,3 --- 1	0,5 --- 1	0,8 --- 1	1 --- -1	1,2 --- -1
9	Водород цианистый	-	0,687	25,7	0,2	0	0,026	3,0	0	0	10,4	1	1,3
10	Деметиламин	0,0020	0,680	6,9	1,2*	0,06	0,041	0,5	0 --- 0,1	0 --- 0,3	0 --- 0,8	1 --- -1	2,5 --- -1
11	Метиламин	0,0014	0,699	-6,5	1,2*	0,13	0,034	0,5	0 --- 0,3	0 --- 0,7	0,3 --- 1	1 --- -1	1,5 --- -1
12	Метил бромистый	-	1,732	3,6	1,2*	0,04	0,039	0,5	0 --- 0,2	0 --- 0,4	0 --- 0,9	1 --- -1	2,3 --- -1
13	Метил хлористый	0,0023	0,983	-23,76	10,8**	0,125	0,044	0,056	0 --- 0,5	0,1 --- 1	0,6 --- 1	1 --- -1	1,5 --- -1
14	Метилакрилат	-	0,953	80,2	6*	0	0,005	0,1	0,1	0,2	0,4	1	3,1
15	Метилмеркаптан	-	0,867	5,95	1,7**	0,06	0,043	0,353	0 --- 0,1	0 --- 0,3	0 --- 0,8	1 --- 1	2,4 --- -1
16	Нитрил акриловой кислоты	-	0,806	77,3	0,75	0	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4
17	Окислы азота	-	1,491	21,0	1,5	0	0,040	0,40	0	0	0,4	1	1
18	Окись этилена	-	0,882	10,7	2,2**	0,05	0,041	0,27	0 --- 0,1	0 --- 0,3	0 --- 0,7	1 --- -1	3,2 --- -1
19	Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0 --- 0,2	0 --- 0,5	0,3 --- 1	1 --- -1	1,7 --- -1
20	Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3 --- 1	0,5 --- 1	0,8 --- 1	1 --- -1	1,2 --- -1
21	Сероуглерод	-	1,263	46,2	45	0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
22	Соляная кислота (концентрированная)	-	1,198	-	2	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
23	Триметиламин	-	0,671	2,9	6*	0,07	0,047	0,1	0 --- 0,1	0 --- 0,4	0 --- 0,9	1 --- 1	2,2 --- -1
24	Формальдегид	-	0,815	-19,0	0,6*	0,19	0,034	1,0	0 --- 0,4	0 --- 1	0,5 --- 1	1 --- -1	1,5 --- -1
25	Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0 --- 0,1	0 --- 0,3	0 --- 0,7	1 --- -1	2,7 --- -1
26	Фтор	0,0017	1,512	-188,2	0,2*	0,95	0,038	3,0	0,7 --- -1	0,8 --- -1	0,9 --- -1	1 --- -1	1,1 --- -1
27	Фосфор треххлористый	-	1,570	75,3	3	0	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
28	Фосфор хлорокись	-	1,675	107,2	0,06*	0	0,003	10,0	0,05	0,1	0,3	1	2,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29	Хлор	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0 --- 0,9	0,3 --- 1	0,6 --- 1	1 --- -1	1,4 --- -1
30	Хлорпикрин	-	1,658	112,3	0,02	0	0,002	30,0	0,03	0,1	0,3	1	2,9
31	Хлорциан	0,0021	1,220	12,6	0,75	0,04	0,048	0,80	0 --- 0	0 --- 0	0 --- 0,6	1 --- -1	3,9 --- -1
32	Этиленимин	-	0,838	55,0	4,8	0	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2
33	Этилен-сульфид	-	1,005	55,0	0,1*	0	0,013	6,0	0,05	0,1	0,4	1	2,2
34	Этилмеркаптан	-	0,839	35	2,2**	0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	2,7

Примечания:

1. Плотности газообразных АХОВ в графе 3 приведены для атмосферного давления; при давлении в ёмкости, отличном от атмосферного, плотности определяются путём умножения данных графы 3 на значение давления в атмосферах (1 атм = 760 мм рт. ст.).

2. Значения K_3 в графах 10-14 в числителе приведены для первичного, в знаменателе – для вторичного облака.

3. В графе 6 численные значения токсодоз, помеченные звездочками, определены ориентировочно по соотношению $D = 240 \cdot K \cdot ПДК_{р.з.}$, где D – токсодоза, мг·мин/л; $ПДК_{р.з.}$ – 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_1 для изотермического хранения аммиака приведены для случая разлива (выброса) в поддон.

Таблица 2

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

Скорость испарения паров аммиака со всей площади разлива будет равна:

$$V_{исп} = \frac{0,28 W_0}{\tau_{исп}}, \quad (3)$$

где W_0 – масса разливающегося аммиака, тонн.

Требуемый расход воды для осаждения паров аммиака определяется по формуле:

$$Q_v = Q_{уд} \cdot K_{дсв} \cdot V_{исп}, \quad (4)$$

где $Q_{уд}$ – удельный расход воды на осаждение аммиака принимается равным 1,8 л/кг [2];

$K_{дсв}$ – коэффициент, учитывающий дисперсность струи воды, её температуру и концентрацию паров аммиака в облаке, равный 2-5 [1, 2].

Количество стволов – распылителей для осаждения паров аммиака определяется по формуле:

$$N_{ст}^p = \frac{Q_v}{g_{ст}^B}, \quad (5)$$

где $g_{ст}^B$ – расход воды из одного водяного ствола с насадкой-распылителем НРТ, л/с

Технические характеристики насадок-распылителей турбинного и щелевого типов

Параметры	Турбинные распылители			Щелевой распылитель РВ-12
	НРТ-5	НРТ-10	НРТ-20	
Напор перед распылителем, МПа	0,6	0,6	0,6	0,6
Расход воды, л/с	5	10	20	12
Дальность струи, м	20	25	35	8
Высота ледяной завесы, м	10	12	15	8
Толщина водяной завесы, м	1,2	1,5	2,0	1,2
Ширина водяной завесы, м	5,0	8,3	13,3	12,5
Площадь водяной завесы, м ²	50	100	200	100
Масса прибора, кг	0,8	0,8	0,8	1,3

Расстояние между стволами определяется по формуле:

$$l_{\text{м.с.}} = \frac{g_{\text{ст}}^{\text{р}} \cdot K_{\text{э.с.}}}{I_{\text{тр}} \cdot h_{\text{м}}}, \quad (6)$$

где $I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи воды для водяной завесы, равная 0,1 л/м²с

$K_{\text{э.с.}}$ – коэффициент, характеризующий задержанное распылённой струёй аммиачно-воздушное облако, равный 0,7;

$$h_{\text{м}} = \sqrt{\frac{g_{\text{ст}}^{\text{р}}}{I_{\text{тр}} \pi}} \quad (7)$$

Проведём проверку соответствия расчёта технической характеристики НРТ.

Водяная завеса должна быть создана в пределах 50-150 м от центра разлива (выброса) аммиака.

Эффективная длина фронта движения аммиачно-воздушного облака, которую необходимо закрепить водяной завесой, определяется по формуле:

$$L_{\text{эф}}^{\Phi} = 2 \tan \frac{\alpha}{2} \cdot L_{\text{у.з.}} + D_{\text{п}}, \quad (8)$$

где α – угол горизонтального рассеивания аммиака (град) (при $V_{\text{в}} \leq 0,5$ м/с зона заражения имеет вид окружности, $V_{\text{в}} > 0,5$ и до 1 м/с – полуокружности, $V_{\text{в}} = 1,1 - 2$ м/с $\alpha = 90^{\circ}$; $V_{\text{в}} > 2$ м/с $\alpha = 45^{\circ}$);

$D_{\text{п}}$ – приведённый диаметр площади разлива, м (при $V_{\text{в}} \leq 1$ м/с $D_{\text{п}} = 0$, $V_{\text{в}} > 1$ м/с $D_{\text{п}}$ определяется по площади разлива (10-20 м));

$L_{\text{у.з.}}$ – расстояние от центра разлива аммиака до места устройства водяной защиты, м.

Количество стволов с насадками НРТ для создания водяной завесы равно:

$$N_{\text{ст}}^{\text{рз}} = \frac{L_{\text{эф}}^{\Phi}}{l_{\text{НРТ}}}, \quad (9)$$

где $l_{\text{НРТ}}$ – ширина водяной завесы, создаваемая одним стволом с насадком НРТ (для НРТ-5 – 5 м, НРТ-10 – 8,3 м, НРТ-20 – 13,3 м).

Сравнивая величины $N_{\text{ст}}^{\text{р}}$ и $N_{\text{ст}}^{\text{рз}}$, полученные путем проведения расчётов, принимаем для выполнения дальнейших действий наибольшее значение.

Требуемое количество пожарных расчётов на АЦ или АНР для обеспечения подачи расчётного количества стволов с насадками НРТ на создание водяной завесы равно:

$$N_{ПА}^{ЗВ} = \left(\frac{N_{ст i}^{рз(р)}}{n_{отд.сти}} \right) K_{ЗП}, \quad (10)$$

где $n_{отд.сти}$ – количество стволов с насадками НРТ на автоцистерне или насосно-рукавном автомобиле;

$K_{ЗП}$ – коэффициент, учитывающий запас расчётов на АЦ или АНР, равный для лета 1,3; для зимы – 1,5.

Фактический расход воды из всех стволов для создания водяной завесы равен:

$$Q_{ф} = \sum_{i=1}^n N_{ст i}^{рз(р)} \cdot g_{сти}. \quad (11)$$

Продолжительность поражающего действия аммиака рассчитывается по формуле (2).

Необходимый запас воды для осаждения аммиака равен:

$$W_{В}^o = Q_{ф} \cdot \tau_{исп} \cdot k_{ЗВ}, \quad (12)$$

где $k_{ЗВ}$ – коэффициент запаса воды ($k_{ЗВ} = 3$).

Требуемое количество расчётов на основных пожарных автомобилях (АЦ, АНР) для создания водяной завесы и работы со стволами в течение времени полного испарения разлитого аммиака равно:

$$N_{отд}^{\Sigma} = N_{ПА}^{ЗВ} + 0,5N_{ПА}^{ЗВ} + N_{ПА}^{ПП}, \quad (13)$$

где $N_{ПА}^{ПП}$ – количество расчётов на пожарных автоцистернах для патрулирования для населённого пункта в зоне заражения (принимается 1 АЦ на 350 жителей).

Для успешной работы пожарно-спасательных подразделений по созданию водяной завесы необходимо выполнить следующее:

- расчёт на АЦ должен быть не менее 4-5 человек;
- водоисточники с достаточным запасом воды должны находиться не далее 300 м от склада удобрений и пестицидов;
- для сбора схемы подачи воды к стволам и создания водяной завесы необходимо иметь на объекте не менее 30 специальных вставок (77×77×77 мм, 89×89×77 мм или 150×150×77 мм);
- иметь на объекте требуемое количество костюмов Л-1 или других аналогичной этой модели в количестве 100 % от числа пожарных-ствольщиков начальников подразделений;
- обеспечить отвод заражённой воды водяного занавеса в специальное место;
- обеспечить контроль дозы заражения на объекте аварии в течение времени испарения всей массы различного аммиака.

Общая ширина полосы отвода воды от водяного занавеса определяется по формуле:

$$b = \frac{Q_{\phi}}{h_{\text{сл.в}} \cdot U_{\text{дв.в}}}, \quad (14)$$

где Q_{ϕ} – фактический расход воды из всех стволов с НРТ для создания водяной завесы, $\text{м}^3/\text{с}$;

$h_{\text{сл.в}}$ – толщина слоя отводимой воды, равная 0,05 м;

$U_{\text{дв.в}}$ – скорость движения воды на полосе отвода, равная 2-4 м/с.

Минимальный объём копани для сбора отводимой воды равен:

$$W_{\text{вм}} = Q_{\phi} \cdot \tau_{\text{исп}} \cdot K_{\text{фв}} \cdot 3600, \quad (15)$$

где $\tau_{\text{исп}}$ – продолжительной испарения разлившегося аммиака, ч;

$K_{\text{фв}}$ – коэффициент, характеризующий фильтрацию воды из водоёма в землю, равный 0,7-0,9.

Требуемый расход воды из противопожарного водоёма равен:

$$Q_{\text{в}}^{\text{оц}} = Q_{\phi} - K_{\text{с}} \cdot Q_{\text{с}}, \quad (16)$$

где $K_{\text{с}}$ – коэффициент, характеризующий возможность отбора расхода воды из противопожарного водоёма, равен 0,85-0,9;

$Q_{\text{с}}$ – максимальный возможный расход воды в сети, л/с.

Продолжительность работы пожарных машин по забору воды из противопожарного водоёма для создания водяной завесы равна:

$$\tau_{\text{оп.в}} = \frac{W_{\text{вт}} \cdot K_{\text{о}}}{Q_{\text{в}} \cdot 60}, \quad (17)$$

где $W_{\text{вт}}$ – теоретический объём водоёма, л;

$K_{\text{о}}$ – коэффициент, учитывающий потери воды в водоёме и "мёртвый" остаток (для земляного водоёма $K_{\text{о}} = 0,67$; для стального или железобетонного $K_{\text{о}} = 0,83$).

Требуемое количество водоёмов одинаковой ёмкости для обеспечения работы водяной завесы определяется из выражения:

$$n_{\text{гр.в}} = \frac{\tau_{\text{исп}}}{\tau_{\text{оп.в}}}. \quad (18)$$

Литература

1. **Методика** прогнозирования масштабов заражения АХОВ при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. Госкомгидромет, РД 52.04.253-90 от 21 мая 1990 г.

2. **Горишний В.А., Чернецов В.Б., Днепровский В.А.** Безопасность жизнедеятельности. Часть 2. Защита населения и территории в ЧС: учебное пособие. Н. Новгород: НГТУ, 1998. 140 с.

3. **Повзик Я.С.** Пожарная тактика. М.: ЗАО "Спецтехника". 1999. 416 с.