ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАСЕЛЕНИЯ И СОТРУДНИКОВ ГПС МЧС РОССИИ ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ С УЧЕТОМ ИХ ДЕЙСТВИЙ НА МЕСТНОСТИ

О. Н. Савчук, кандидат технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

В России обеспечение безопасности населения является приоритетным в XXI веке в связи со складывающейся международной и внутриполитической обстановкой в стране. Тенденция роста чрезвычайных ситуаций (ЧС) требует совершенствования способов и методов предупреждения и защиты населения и сотрудников ГПС в условиях возникновения ЧС. Несмотря на некоторое снижение роста ЧС техногенного характера проблема обеспечения безопасности в России в ближайшие десятилетия приобретает особую актуальность в связи с массовой выработкой проектного ресурса энергетических и промышленных производств, полная замена которых требует значительных материальных затрат.

Ключевые слова: безопасность населения, чрезвычайная ситуация, потенциально опасные объекты, средства индивидуальной защиты

LOSSES ACCOUNTING OF THE POPULATION AND EMPLOYEES OF FIRE STATE SERVICE OF THE MINISTRY OF EMERCOM OF RUSSIA AT FAILURES ON CHEMICALLY DANGEROUS OBJECTS IN VIEW OF THEIR OPERATION ON DISTRICT

O. N. Savchuk

In Russia the safety of the population is priority in XXI century in communication with developing international and internal political conditions in the country. The tendency of growth of extreme situations demands perfection of ways and methods of the prevention and protection of the population and employees of fire state service in conditions of occurrence extreme situations. Despite of some decrease in growth extreme situations of technogenic character the problem of a safety in Russia the nearest decades gets a special urgency in connection with mass development of a design resource power and industrial productions which full replacement demands significant material inputs.

Key words: safety of the population, the extreme situation, potentially dangerous objects, means of an individual defense

В России обеспечение безопасности населения является приоритетным в XXI веке в связи со складывающейся международной и внутриполитической обстановкой в стране. Тенденция роста чрезвычайных ситуаций (ЧС) требует совершенствования способов и методов предупреждения и защиты населения и сотрудников ГПС в условиях возникновения ЧС. В России имеет место около 1500 ЧС в год, из них 70–75 % техногенного и 25–30 % природного характера. Несмотря на некоторое снижение роста ЧС техногенного характера проблема обеспечения безопасности в России в ближайшие десятилетия приобретает особую актуальность в связи с массовой выработкой проектного ресурса энергетических и промышленных производств, полная замена которых требует значительных материальных затрат. Так, например, гарантированный ресурс большинства АЭС на территории страны уже выработан, предусмотренное строительство новых ядерных реакторов не обеспечит

своевременную смену существующих. Немалую долю в ЧС техногенного характера занимают аварии на химически опасных объектах (ХОО). Это обусловлено наличием большого количества ХОО (около 3500) на территории России, износ оборудования которых составляет более 70 %. Например, эксплуатация трубопроводов по аварийной перекачке химически опасных веществ (АХОВ) составляет более 20 лет, что соответствует 70 % износа. Ежегодно хранятся, производятся и перевозятся более 700 тыс. т АХОВ, в основном хлора и аммиака.

На современном этапе обеспечение безопасности еще более актуально в связи с возможными разрушениями в ходе боевых действий или террористических актов потенциально опасных объектов, таких как ХОО, радиационно-опасных (РОО), взрывопожароопасных (ВПОО), транспорта, привлекаемого для массового перевоза людей. Так, в августе 2007 г. террористическая акция с подрывом железнодорожного полотна на магистрали Москва–Санкт-Петербург привела к большому материальному ущербу, связанному с прекращением движения почти на сутки, повреждением 3-х вагонов пассажирского поезда «Невский экспресс» и восстановлением разрушенного полотна. Кроме того в этой катастрофе пострадало 60 человек.

Общая характеристика регионов России по количеству и опасности основных потенциально опасных объектов представлена в табл. 1 [1].

Анализ наличия потенциально опасных объектов, представленных в табл. 1, показывает, что наибольшее количество таких объектов составляют ХОО и взрывопожароопасные объекты. Значительное количество населения может оказаться в зонах возможного химического заражения при авариях ХОО в Центральном, Северо-Кавказском, Приволжском, Уральском, Дальневосточном регионах [2]. В связи с этим в целях обеспечения безопасности людей большое значение имеет своевременное оповещение при авариях и обеспечение средствами индивидуальной защиты (СИЗ) населения.

Данные, представленные в табл. 2 [3], показывают, что обеспеченность СИЗ населения низка, особенно по защите от АХОВ (обеспеченность дополнительными патронами ДПГ-3 к фильтрующим противогазам всего 8 %) и, как правило, они находятся на складах, а не на руках у людей по месту жительства. Оповещение населения локальной системой вокруг ХОО в лучшем случае достигает 17,2 % [3], при этом 43 % населения может быть оповещено об аварии на ХОО за 5 минут, 53 % – за 30 минут.

Таблица 1. **Общая характеристика регионов России и основных опасностей техногенного характера**

№	Регион	Площадь		Население		Доля городского населения, %	Кол-во ХОО		Кол-во РОО		Кол-во ВПОО	
		тыс. кв. км	%	млн чел.	%		шт.	%	шт.	%	шт.	%
1	Северо-Западный	1690	9,4	15	10	66,6	390	11,1	13	25,1	2350	31,7
2	Центральный	727,2	4,1	42	28,2	80	800	22,7	30	57,7	990	13,3
3	Северо-Кавказский	610,9	3,4	21	14,1	54	700	19,7	2	3,8	1400	18,9
4	Приволжский	1961	10,9	29	19,5	66	460	13,2	3	5,8	480	6,5
5	Уральский	1788	9,9	13	8,7	80	350	9,9	2	3,8	800	10,8
6	Сибирский	5117	28,4	21,4	14,4	75	384	10,9	2	3,8	800	10,8
7	Дальневосточный	6112	33,9	7,6	5,1	80	440	12,5	-	-	600	8,0
	Всего	18006,1	100	149	100		3524	100	52	100	7420	100

Таким образом, большая часть населения в городах (время оповещения 30 минут) может оказаться в зоне заражения до принятия ими мер защиты. Районы дислокации пожарно-спасательных частей также в большинстве случаев могут оказаться в зонах химического заражения. Если объектовые пожарные части, как правило, обеспечены изолирующими противогазами на весь личный состав, то в остальных пожарных частях ими обеспечена только дежурная смена. В этих условиях в целях выбора приоритетных направлений по комплексу мероприятий защиты людей немаловажное значение при оценке химической обстановки приобретает определение возможных потерь населения и сотрудников ГПС.

Таблица 2. **Обеспеченность населения СИЗ России (по данным на 2002 г.)**

Наименование СИЗ	Обеспеченность, %
Противогазы	74
Респираторы	59
Камеры защитные детские	43
ДПГ	8
Антидоты от АХОВ	23

Существующая нормативная методика [4] не предусматривает оценку потерь, она позволяет определить только размеры зон площади заражения (поражения) при открытом расположении взрослого населения по нормативным значениям токсодоз, независящих от времени действия.

Для оценки потерь населения, сотрудников ГПС и вероятностей их поражения при авариях на ХОО необходимо знать не только пространственно-временное распределение концентраций паров в первичном и вторичном облаках, но и зависимость вероятности поражения человека от интенсивности воздействия паров данного типа АХОВ. В качестве критерия для оценки интенсивности ингаляционного воздействия паров АХОВ, определяющей степень поражения человека, выбирается величина концентрации АХОВ в воздухе. При длительных воздействиях паров АХОВ (несколько часов) в большинстве методик [4], [5] принимается величина токсодозы. Однако, как показали исследования [6], для каждого времени экспозиции должен быть свой уровень токсодозы, вызывающей данную степень поражения. Этот уровень существенно зависит от возраста, состояния здоровья человека. В работе [6] дан подход к определению статистической характеристики этих токсодоз для двух групп людей:

– взрослое здоровое население (к=1);

– дети, престарелые и больные (к=2).

Распределение вероятностей при ингаляционном поражении АХОВ [6] ближе к логарифмически-нормальному закону и может быть представлено в виде:

$$P_{kj}\ (D\ ,\tau\ ) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\ \exp\left[-\frac{\left(\ln \bar{D}kj\right)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где $P_{kj}\ (D\ ,\tau\ )$ – вероятность поражения j-й степени тяжести человека к-й группы населения от воздействия паров АХОВ с токсодозой D за время τ ;

$\overline{D}_{kj} = \dfrac{D}{D^{дин}{}_{kj}}$ – приведенная токсодозовая нагрузка воздействия на человека к-й группы населения для j-й степени тяжести поражения при заданном времени экспозиции τ ;

D – величина токсодозы от рассматриваемого воздействия паров АХОВ на человека за время τ.

Однако целесообразнее использовать зависимость поражающих уровней токсодоз от времени действия с учетом пробит-функции [5] и [6]. Пробит-функция, являясь параметром логарифмически нормального распределения вероятности, позволяет определить вероятность получения человеком данной степени поражения в зависимости от величины токсической нагрузки.

Пробит-функция рассчитывается по формуле

$$Pr = a + b\ln(C^n \cdot \tau),$$

где a,b,n – константы для рассматриваемого АХОВ, вызывающего данную степень поражения; C – концентрация паров рассматриваемого АХОВ; τ – время действия концентрации.

В работе [7] и [5] даны значения констант a, b, n для случаев смертельного поражения при условии поражающих уровней токсодоз для диапазона времен больше одного часа.

Поражение населения в случае аварии на ХОО будет определяться совместным воздействием первичного и вторичного облака, а также будет зависеть от ситуации, в которой он может оказаться:

– население не успевает укрыться до окончания действия первичного облака;

– население успевает укрыться до окончания действия первичного облака.

В первом случае, как было показано в работе [6], вероятность поражения рассматриваемой степени тяжести будет определяться по формуле:

$$P_{\Sigma} = 1 - (1-P_1)\cdot(1-P_2),$$

где P_1 – вероятность поражения от первичного облака заражения населения, когда время его укрытия в зданиях больше времени действия первичного облака; P_2 – вероятность поражения от вторичного облака заражения при нахождении людей в зданиях.

В связи с тем, что поражающие уровни токсодоз в [4] и [5] приняты для времени больше одного часа, а реально население будет под воздействием первичного облака заражения, находясь на открытой местности, не более 10 мин, то есть до укрытия в зданиях или убежищах, то, как показали исследования [6], расчет вероятности поражения, например, для длительности τ = 1 мин с учетом поражающих уровней нормативных токсодоз приводит к завышенным примерно в два раза значениям смертельных концентраций по аммиаку.

Поэтому для малых времен действия целесообразно использование нормативных динамических токсодоз в зависимости от времени действия [10]:

$$Д^{дин}_{k.j} = \frac{\bar{a}_{kj} \cdot \tau}{1400 + 35\tau^{0,6}}, \qquad (1)$$

где τ – длительность действия паров АХОВ, с; $\bar{a}_{kj}$ – коэффициент к-й группы населения, зависящий от рассматриваемой j-й степени тяжести поражения.

Значения $\bar{a}_{kj}$ рассчитываются на основе статистических данных по ингаляционному поражению от АХОВ. К сожалению, они приведены [6] только для аммиака, а не для всего спектра АХОВ.

Используя формулу (1) для j-й степени поражения, пробит-функцию можно представить в виде:

$$P_{rj} = -a_j + b\ln\xi, \qquad (2)$$

где $\xi = \dfrac{Д_{kj}^{дин}(\tau) * (1400 + 35\tau^{0,6})}{\tau}$.

Практическое использование расчета вероятности поражения по формулам (1) и (2) будет осуществимо по получению полных данных по коэффициентам $\bar{a}_{kj}$ для всех типов АХОВ.

Для сотрудников МЧС, находившихся на своих объектах и оказавшихся в зоне поражения от аварии на ХОО, будет характерен второй ситуационный случай. Сотрудники ГПС, находящиеся на территории объекта, если не были оповещены, почуяв запах АХОВ, успеют укрыться в помещении (убежище). В этом случае $t_{укр} \le \tau_1$ (время действия первичного облака) и сотрудник получит токсодозу от первичного облака заражения $Д^*_1$, меньшую чем $Д_1$ (токсодоза от первичного облака заражения при открытом расположении на местности за полное время действия первичного облака), при этом вероятность поражения от действия первичного облака P_1 будет определяться токсодозой:

$$Д_1^* = Д_1 \cdot \frac{t_{укр}}{\tau_1},$$

где $Д_1$ – токсодоза, полученная сотрудником за время прохождения первичного облака на открытой местности, будет определяться по формуле:

$$Д_1 = C_{1об} \cdot \tau_1,$$

где $C_{1об}$ определяется по формуле [9]: $C_{1ОБ}(x,y,z,t) = \dfrac{2 \cdot q}{u} \cdot \varphi(x,y) \cdot \Psi(x,z)$,

где $\varphi(x,y) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{Y_{ОБ}}} \cdot \exp(-\dfrac{y^2}{2\sigma^2_{Y_{ОБ}}})$; $\Psi(x,z) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{Z_{ОБ}}} \cdot \exp(-\dfrac{z^2}{2 \cdot \sigma_{Z_{ОБ}}{}^2})$;

$$\sigma_{Y_{ОБ}} = \sqrt{\sigma^2{}_y(o) + \sigma^2{}_{yМТИ}} = \sqrt{(2y_0)^2 + \sigma^2_{yМТИ}}; \quad \sigma_{Z_{ОБ}} = \sqrt{\sigma^2{}_z(o) + \sigma_{Z_{МТИ}}{}^2} = \sqrt{(2z_0)^2 + \sigma^2_{Z_{МТИ}}};$$

q – интенсивность истечения АХОВ.

Вероятность поражения сотрудника за период его нахождения в помещении $\tau_\Sigma = \tau_2 + \tau_1 - t_{укр}$ (τ_2 – время действия вторичного облака) практически равна вероятности P_2 поражения сотрудника, находившегося в этом помещении с момента возникновения аварии за время $\tau_\Sigma = \tau_1 + \tau_2$ (так как $t_{укр} << \tau_\Sigma$).

В рассматриваемой ситуации вероятность поражения сотрудника ГПС будет определяться соотношением:

$$P_\Sigma = 1 - (1 - P_1^*)(1 - P_2), \qquad (3)$$

где P_1^* – вероятность поражения сотрудника от воздействия первичного облака, находившегося в момент аварии на открытой местности и успевшего укрыться до окончания действия первичного облака.

Население и сотрудники, находящиеся в зданиях, получают поражение от затекания паров АХОВ во внутренние помещения. Интенсивность затекания паров зависит от герметичности помещений: открыты форточки или окна, отключена общая вентиляция в здании, имеется ли дополнительная герметизация при закрытых окнах и форточках, а также обеспеченности населения специальными, а сотрудников ГПС изолирующими противогазами.

Степень герметизации определяется коэффициентом кратности воздухообмена $к_в$ (1/час), она в [8] изменяется в широких пределах:

– при открытых окнах $к_в$ = 2…1 (1/час);
– с открытыми форточками $к_в$ = 1…0,15 (1/час);
– в убежищах $к_в$ = 0,05…0,005 (1/час).

Вероятность поражения P_2 сотрудника ГПС, укрывшегося в здании пожарной части (ПЧ) без СИЗОД, будет определяться токсодозой

$$Д_2(t) = \int_0^{\tau_\Sigma} C_{\Sigma об}(t) \cdot dt = \quad Д_2(\tau_\Sigma) = C_{\Sigma об} \cdot \tau_\Sigma - \frac{C_{\Sigma об}}{к_в} \cdot \left(1 - e^{-к_в * \tau_\Sigma}\right) \qquad (4)$$

где $C_{\Sigma об}$ – суммарная концентрация от первичного и вторичного облака в рассматриваемой точке пространства, г/м^3.

С учетом обеспеченности сотрудников ГПС изолирующими противогазами в ПЧ следует рассчитывать среднюю вероятность поражения $P_{2ср}$ как

$$P_{2ср} = S \cdot [P_2 \cdot \alpha_1 + P_{2пр} \cdot (1 - \alpha_1)],$$

где α_1 – доля личного состава, находящаяся в здании ПЧ без СИЗОД; $P_{2пр}$ – вероятность поражения личного состава в изолирующих СИЗОД равная $0{,}1 \cdot P_2$, исходя из условий, что 10 % из них несвоевременно надели СИЗОД или они были неисправны.

С учетом $P_{2пр}=0{,}1P_2$ формулу (3) можно представить в виде

$$P_{2ср} = 1/2(0{,}9P_2 \cdot \alpha_1 + 0{,}1P_2), \qquad (5)$$

тогда вероятность поражения сотрудника ГПС будет определяться по формуле

$$P_\Sigma = 1 - (1 - P_1^*)(1 - P_{2ср}).$$

В связи с тем, что практически сотрудники ГПС успевают укрыться в здании по сигналу оповещения до начала действия первичного облака или, почувствовав запах АХОВ, быстро укрываются в здании пожарной части, то есть $t_{укр} \ll \tau_1$, то вероятность поражения сотрудников от первичного облака до укрытия их в здании будет ничтожно мала; так как показали исследования [9] максимальное значение концентрации первичного облака достигает при приходе в данную точку пространства не сразу, а по истечении одной минуты, то вероятность поражения сотрудников ГПС от затекания в здание первичного и вторичного облаков заражения следует определять по формуле (4).

Таким образом, определение вероятности поражения P_2 (табл. 3) сотрудников ГПС для рассматриваемого случая предлагается вычислять с помощью следующего вида пробит-функции:

$$Pr = a + b\ln(Д'_2),$$

где $Д'_2(\tau_\Sigma) = C^n{}_{\Sigma об} \cdot \tau_\Sigma - \frac{C^n{}_{\Sigma об}}{к_в} \cdot \left(1 - e^{-к_в * \tau_\Sigma}\right)$.

Значения коэффициентов a, b, n определяются согласно табл. 7 [5]. Использование значений коэффициентов табл. 7 оправдано, так как нахождение сотрудников ГПС в зданиях предполагается более одного часа.

Затем по формуле (5) вычисляется вероятность смертельного поражения сотрудников от воздействия АХОВ.

Таблица 3. **Связь вероятности поражения с пробит-функцией**

P, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Литература

1. Лисовский И. В. ВМФ и российская правовая база: проблемы, пути решения // Жизнь и безопасность. 2003. – № 1-2.

2. Доклад министра МЧС по подведению итогов деятельности МЧС России в 2001 г и постановке задач на 2002 г. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2002. – Вып 4.

3. Савчук О. Н. Пути совершенствования системы безопасности населения пожарно-спасательными подразделениями МЧС при авариях на химически опасных объектах // Вестник Санкт-Петербургского института ГПС МЧС России. – 2005. –. № 4 (11).

4. Методика прогнозирования масштабов заражения АХОВ при авариях (разрушениях) на ХОО и транспорте. РД 52.04.253-90. – Л., 1991.

5. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ. (Методика «Токси-3»). – М., 2005.

6. Замышляев Б. В. Определение потерь населения при авариях на аммиачных особо опасных объектах с учетом реального поведения населения // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2006. – № 4.

7. Finney D. J. Probit Analysis. – 1977.

8. Цыганков С. С. и др. Отчет по проекту 5.6.4. комплексной программы «Безопасность Москвы». – М., 1993.

9. Замышляев Б. В. Влияние начальных размеров объемных источников выброса (истечения) невесомой примеси на оценку концентрационных полей, возникающих при распространении облаков гауссовского типа // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2006. – № 3.

10. Замышляев Б. В. и др. Прогноз ингаляционного поражения человека при аварийном выбросе аммиака и хлора // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2001. – № 5.