

Ларионов В.И.

(кандидат технических наук, доцент, Центр исследований экстремальных ситуаций, г. Москва),

Акатьев В.А.

(кандидат технических наук, профессор, Центр исследований экстремальных ситуаций, г. Москва),

Александров А.А.

(инженер МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ В РАЙОНЕ АВТОЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ ПО РИСКУ ВЗРЫВОВ БЕНЗИНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПРИ ЗАПРАВКЕ ЕМКОСТЕЙ

«*Большие дыхания*» происходят при заполнении резервуара, когда вся бензино-воздушная смесь (БВС) из резервуара вытесняется через дыхательный клапан в атмосферу. Учитывая большую интенсивность выброса БВС и сравнительно малое время заправки, «*большие дыхания*» можно рассматривать как залповые выбросы БВС. Для оценки взрывоопасности АЗС необходимо знать объем выброса и концентрацию паров бензина в БВС.

Для оценки концентрации паров бензина в газовой полости резервуара достаточно оценить минимальные (в герметичном объеме) и максимальные (с учетом «*малых дыханий*») ее значения. Общее давление в замкнутом газовом объеме резервуара будет суммироваться из парциального давления воздуха (атмосферное давление 101,3 кПа) и парциального давления паров бензина (давление насыщения). Зная отношение парциального давления паров бензина к общему давлению, можно определить концентрацию паров бензина в БВС в газовой полости резервуара /1/. Данные о давлении насыщения приняты по Н.Б. Варгафтику /2/.

Концентрация паров бензина в герметичной газовой полости резервуара при длительном хранении достигает своего наибольшего значения в момент, когда в газовой полости устанавливается давление равное ($p_n + p_o$). В соответствии с законом Дальтона, концентрацию паров бензина в герметичном газовом объеме можно определить по формуле:

$$c_n = 100 p_n / (p_n + p_o), \% \text{ об.}, \quad (1)$$

где p_n – давление состояния насыщения при температуре хранения, кПа;

p_o – атмосферное давление воздуха, кПа.

Давление насыщения бензина и концентрация паров бензина в герметичной емкости, полученные для разных температур его хранения, представлены в табл. 1.

В действительности, максимальная концентрация паров бензина в газовой полости

резервуара при хранении значительно выше значений, представленных в табл. 1. Это связано с испарением бензина в резервуаре и многочисленными «*малыми дыханиями*». Объем выброса БВС при «*малом дыхании*» составляет до 2% объема газовой полости. По этой причине концентрация (табл. 2) может возрасти в 2 раза.

При опорожнении резервуара в него через клапан поступает атмосферный воздух, который в процессе хранения насыщается парами бензина, и при новом наливе процесс «*большого дыхания*» повторяется вновь. АЗС г. Москвы заправляются с периодичностью 1 раз в 1-2 суток.

Плотность паров бензина ρ_n может быть определена по формуле

$$\rho_n = \frac{M_\mu T_o}{V_\mu T}, \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

где $M_\mu = 97$ – молярная масса паров бензина, кг/кмоль;

$V_\mu = 22,4$ – молярный объем паров бензина, м³/кмоль;

$T_o = 273$ – стандартная температура, К;

$T = (273+t)$ – температура хранения бензина, К;

t – температура хранения, °С.

При 30°С плотность паров бензина равна

$$\rho_n = \frac{M_\mu T_o}{V_\mu T} = \frac{97 \cdot 273}{22,4 \cdot 303} = 3,9 \text{ кг/м}^3.$$

Масса паров бензина в газовом пространстве резервуара M_6 будет пропорциональна

Таблица 1

Температура хранения бензина, °С	+30 (лето)	+5	-25 (зима)
Давление насыщения бензина, кПа	16,8	5,3	2
Концентрация паров бензина в БВС, % об.	15	5	2

Таблица 2

Температура наружного воздуха, °С	30	5	-25
Концентрация паров бензина в БВС, % об.	20-35	5-15	2-12

объемной концентрации c_n , объему газового пространства V_n и плотности ρ_n , т. е.

$$M_n = \rho_n V_n C_n / 100, \text{ кг}, \quad (3)$$

где $V_r - 0,8V$;

V – объем резервуара, м^3 .

Результаты расчетов потерь бензина от одного «большого дыхания» резервуара приведены в табл. 3.

Таблица 3

Емкость резервуара, м^3	Лето	Весна-осень	Зима
20	12–21	3.3–10	1.5–8.9
40	24–42	6.6–20	3.0–18

Потери бензина M_n от «больших дыханий» можно представить в виде линейной зависимости вида

$$M_n = k_i V,$$

где V – объем резервуара, м^3 ;

k_i – удельная масса БВС для i -го сезона, $\text{кг}/\text{м}^3$ (табл. 4).

Таблица 4

Наименование	Лето	Весна-осень	Зима
Удельная масса БВС, k_i , $\text{кг}/\text{м}^3$	1.05	0.50	0.45

Радиус зоны загазованности. В открытом воздушном пространстве при неподвижной воздушной среде радиус зоны загазованности с концентрацией, соответствующей нижнему концентрационному пределу распространения пламени (НКПР), в зависимости от массы выброса паров бензина может быть определен по формуле /3/

$$R_{\text{нкпр}} = 3,2 K^{1/2} (p_n / c_{\text{нкпр}})^{0,8} (M_n / (\rho_n p_n))^{0,33}, \text{ м}, \quad (4)$$

где $R_{\text{нкпр}}$ – радиус зоны загазованности, м;

M_n – масса поступивших при дыхании паров бензина, кг;

ρ_n – плотность паров бензина, $\text{кг}/\text{м}^3$;

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

$c_{\text{нкпр}}$ – концентрация, соответствующая НКПР, % об. (для паров бензина $c_{\text{нкпр}} = 0,75$ % об.);

K – коэффициент ($K = T/3600$);

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

Для емкости 50 м^3 , заправка которой проходит 1800 с, получаем следующую величину радиуса распространения паров бензина при безветрии

$$R_{\text{нкпр}} = 3,2 (1800/3600)^{1/2} (16,8/0,75)^{0,8} (50/4 * 16,7)^{0,33} = 25 \text{ м}.$$

Дрейф облака БВС. Диаметр облака БВС равен $D_{\text{нкпр}} = 2R_{\text{нкпр}} = 50 \text{ м}$.

При ветре возможен дрейф облака на расстояние до 150 м с вероятностью 0,7.

Облако БВС будет сосредотачиваться в приземной области, поскольку пары бензина тяжелее воздуха.

Частота взрыва БВС. Известны аварии на АЗС со взрывом БВС при заправках. Например, 24 января 2003 г. при взрыве БВС на АЗС в г. Бугульме полностью разрушены автомойка и магазин, а телесные повреждения получили 3 человека.

По данным статистики за последние 10 лет в г. Москве на АЗС произошла одна авария с возгоранием БВС при «большом дыхании» емкости. Принимая, что к взрыву приводит каждый второй случай возгорания облака БВС, определим частоту аварии с взрывом N на АЗС:

$$N = n \cdot P / (N \cdot T) = 1 \cdot 0,5 / (500 \cdot 10) = 10^{-4}, \text{ год}^{-1}, \quad (5)$$

где n – число аварий, связанных с «большими дыханиями», на АЗС в Москве за 10 лет ($n = 1$);

P – вероятность аварии со взрывом при условии, что произошло возгорание облака ($P = 0,5$);

N – число АЗС в Москве ($N = 500$);

T – время наблюдения ($T = 10$ лет).

При дефлаграционном режиме избыточное давление взрывной волны ΔP_{def} , Па, определяется по формуле /5/

$$\Delta P_{\text{def}} / P_* = 1,788 / \lambda_d - 0,65 / \lambda_d^2, \quad (6)$$

$$P_* = P_0 (V_r \cdot C_0)^2 \cdot (\sigma - 1) / \sigma, \quad (\lambda_d \geq \lambda_{d,\text{кр}} = 0,73251),$$

где $\lambda_d = R / \sqrt[3]{E / P_0}$;

V_r – скорость видимого фронта пламени (в расчетах принята равной 200 м/с);

C_0 – скорость звука в воздухе ($C_0 = 340$ м/с);

σ – степень расширения продуктов сгорания ($\sigma = 7$).

Если $\lambda_d < \lambda_{d,\text{кр}}$, то параметры взрывной волны не зависят от координаты, и в расчетах используются те же формулы с подстановкой значения $\lambda_d = \lambda_{d,\text{кр}}$

Импульс фазы сжатия I_{def} , Па·с, вычисляется из выражения

$$I_{\text{def}} / I_* = 0,1293 / \lambda_d + 0,0464 / \lambda_d^2 - 0,025 / \lambda_d^3,$$

$$I_* = 10^6 (0,1 P_0)^{2/3} \frac{V_r \cdot E^{1/3}}{C_0^2} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} \left(1 - 0,4 \frac{V_r}{C_0} \cdot \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right). \quad (7)$$

Время фазы сжатия находится из уравнения

$$\tau_{\text{эф}} = 2I_{\text{def}} / \Delta P_{\text{def}}, \text{ с.} \quad (8)$$

Вероятность появления поражающего фактора различной интенсивности в рассматриваемой точке. Можно определить интенсивность поражающих факторов на любом расстоянии от центра взрыва в пределах зоны поражения с учетом дрейфа облака. Расстояния дрейфа облака являются случайными величинами, распределение вероятностей которых может быть оценено /4/.

Функция распределения дрейфа облака (рис. 1, а) определяет вероятность события, что облако будет на расстоянии меньше заданной величины L

$$F(L) = P(\bar{L} < L), \quad (9)$$

где \bar{L} – случайные значения расстояния по направлению ветра.

Учитывая, что $F'(L) = f(L)$, построим функцию плотности распределения вероятностей (рис. 1, б) дрейфа облака. Тогда вероятность появления облака БВС в пределах отрезка ΔL на расстоянии L от емкости АЗС при заданном направлении ветра определяется из выражения

$$P(L) = f(L) \cdot \Delta L. \quad (10)$$

Функция плотности распределения вероятностей повторяемости ветров для г. Москвы приведена на рис. 2. Тогда вероятность появления облака БВС в пределах сектора dV определяется из выражения

$$P(V) = \varphi(V) dV. \quad (11)$$

Для проведения расчетов вокруг емкости АЗС формируется матрица. Каждая ячейка матрицы представляет площадку с размерами $5 \times 5 \text{ м}^2$. При оценке вероятностей и интенсивностей

поражающих факторов шаг по дрейфу облака принимаем равным 25 м, а по направлению ветра через 1 град.

Расчетная схема к определению вероятности появления поражающего фактора различной интенсивности в пределах элементарной площадки с координатами (x, y) приведена на рис. 3.

Персонал на АЗС и клиенты могут находиться как в зданиях, так и на открытой местности. Принимается, что в здании находится 20% людей. На АЗС чаще применяются здания из легкого каркаса со стенами из панелей типа «Сэндвич».

Законы поражения людей. Под законами поражения людей понимают зависимость вероятности поражения людей от интенсивности поражающего фактора. Законы поражения людей, размещенных в зданиях, получены на основе теоремы полной вероятности. В расчетах учитывается, что событие C_j (общие, безвозвратные, санитарные потери) может произойти при получении зданием одной из степеней повреждения, образующих полную группу несовместных событий. Расчеты проводятся по формуле /7/

$$P(\Phi) = \sum_{i=1}^n P_{\text{В}i}(\Phi) \cdot P(C_j / B_i), \quad (12)$$

где $P(\Phi)$ – вероятность поражения людей от воздействия поражающего фактора Φ ;

$P_{\text{В}i}(\Phi)$ – вероятность наступления i -й степени повреждения здания при заданном значении поражающего фактора (закон разрушения здания);

$P(C_j / B_i)$ – вероятность получения людьми j -й степени поражения при условии, что наступила i -я степень повреждения здания;

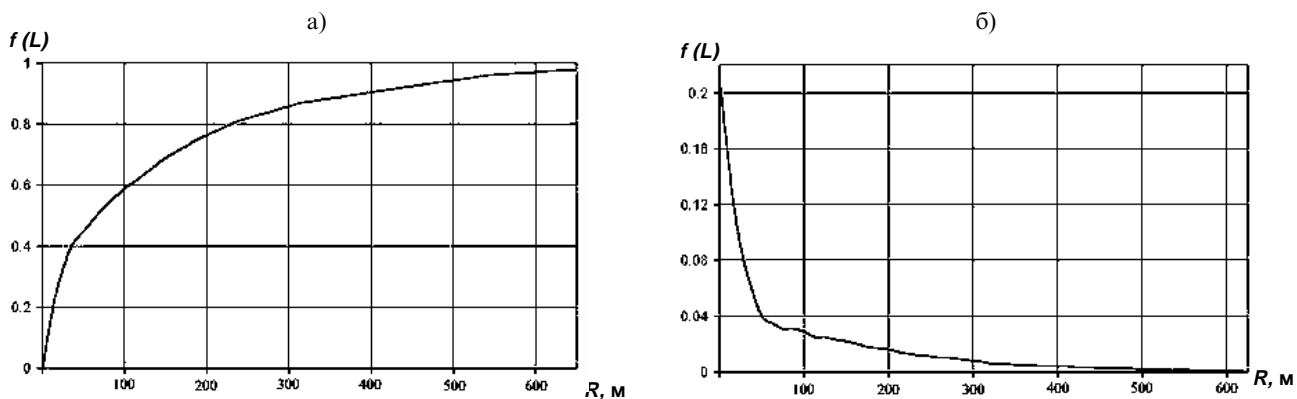


Рисунок 1. Графики функции распределения $F(L)$ (а) и функция плотности распределения вероятностей $f(L)$ (б) дрейфа облака

n – рассматриваемое число возможных состояний повреждения здания.

Законы разрушения зданий, характерных для АЗС. В качестве поражающего фактора для зданий может рассматриваться:

импульс (при $\tau_+ \leq 3T/8$) или

избыточное давление (при $\tau_+ > 3T/8$), (13)

где τ_+ - время действия фазы сжатия;

T – период собственных колебаний конструкции (для одноэтажных панельных зданий можно принять $T = 0,07$ с).

Степени разрушений зданий с ограждающими конструкциями из панелей типа «Сэндвич» от воздействия поражающего фактора даны в табл. 5.

$\varphi(V)$

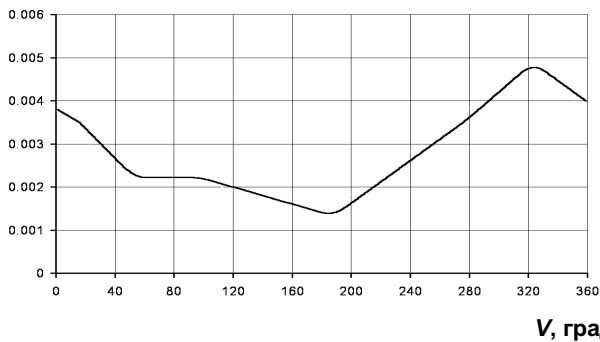


Рисунок 2. Плотность распределения вероятностей $j(V)$ повторяемости ветров для г. Москвы

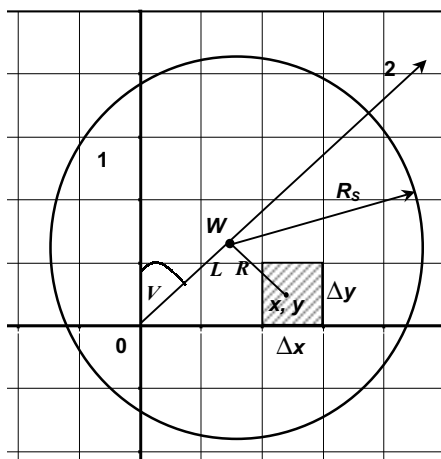


Рисунок 3. Расчетная схема к определению вероятности появления поражающего фактора различной интенсивности в пределах элементарной площадки с координатами (x, y) : 1 – зона действия взрыва; 2 – направление смещения облака; 0 – расположение емкости АЗС. L – рассматриваемое значение перемещения облака; W – точка взрыва; R – расстояние от точки взрыва до центра элементарной площадки; Δx и Δy – размеры площадки; V – направление вертикальной осью и направлением ветра; R_s – радиус зоны воздействия взрыва

Таблица 5

Степени разрушения			
слабая	средняя	сильная	полная
При воздействии удельного импульса, Па·с			
100-700	700-1000	1000-1300	1300-1700
При воздействии избыточного давления, кПа			
10-30	30-50	50-65	65-105

Вероятность разрушения строительных конструкций от воздействия взрывных нагрузок подчиняется нормальному распределению. При этом средние квадратические отклонения рекомендуется принимать равными $1/6$

$$\sigma = k \cdot \Phi_{\text{расч}}, \quad (14)$$

где $\Phi_{\text{расч}}$ – величина расчетной нагрузки, вызывающая разрушения, при которых эксплуатация сооружения невозможна;

k – коэффициент, зависящий от степени разрушения сооружения, принимаемый равным: для слабой степени – 0,1; средней – 0,2; сильной – 0,3; полной – 0,4.

В качестве расчетной нагрузки принимается среднее значение импульса, вызывающее среднюю степень разрушения здания. Тогда другие характерные параметры распределения – математические ожидания M интенсивности поражающих факторов, вызывающих не менее определенных степеней разрушения зданий и средние квадратические отклонения σ , можно определить (табл. 6).

Таблица 6

Степени разрушения и параметры нормального закона, Па·с							
слабая		средняя		сильная		полная	
M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
400	85	850	170	1150	255	1800	340

Вероятность получения зданием не менее определенной степени разрушения выражается формулой

$$G(\Phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot u^2\right) du, \quad (15)$$

где $Z = (\Phi - M)/\sigma$;

Φ – рассматриваемое значение поражающего фактора – импульса или давления;

u – переменная интегрирования.

Значения интеграла (15) могут быть определены по формуле разложения

$$G(\Phi) = \frac{1}{2} \varphi(x) + \frac{1}{2}; \quad x = \frac{Z}{\sqrt{2}};$$

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(x - \frac{x^3}{3} + \frac{1}{2!} \cdot \frac{x^5}{5} - \frac{1}{3!} \cdot \frac{x^7}{7} + \frac{1}{4!} \cdot \frac{x^9}{9} \dots \right). \quad (16)$$

Эти формулы следует ограничить диапазоном $\Phi_{\min} < \Phi < \Phi_{\max}$. Соответствующие граничные значения составляют для аргумента $Z = |3|$ и вероятностей $G(-3) = 0,0014$ и $G(3) = 0,9986$.

После воздействия здание может быть в одном из m несовместных событий: оказаться целым (событие V_0), получить слабую V_1 , среднюю V_2 , сильную V_3 или полную V_4 степени разрушения (рис. 4). Вероятности наступления определенных степеней разрушения зданий могут быть представлены в виде зависимости:

$$\begin{cases} P_{Bn}(\Phi) = P_{An}(\Phi); \\ P_{Bi}(\Phi) = P_{Ai}(\Phi) - P_{Ai+1}(\Phi); \\ \dots \\ P_{B1}(\Phi) = P_{A1}(\Phi) - P_{A2}(\Phi); \\ P_{B0}(\Phi) = P_{A0}(\Phi) - P_{A1}(\Phi), \end{cases} \quad (17)$$

где $P_{Ai}(\Phi)$, $P_{Ai+1}(\Phi)$ – вероятности наступления не менее i -й, $(i+1)$ -й степеней разрушения зданий.

При этом учитывается теорема о полной группе событий

$$\sum_{i=0}^m P_{Bi}(\Phi) = 1, \quad (18)$$

где m – число рассматриваемых событий; P_{Bi} – вероятность наступления i -й степени разрушения зданий.

Графики законов разрушения приведены на рис. 4.

В соответствии с изложенным методическим подходом могут быть получены законы разрушения зданий на воздействие давления. Вероятности наступления j -й степени поражения людей в зданиях, при условии получения зданиями i -й степени поражения, приняты по данным работы /8/ (табл. 7).

Таблица 7

Структура потерь	Вероятность поражения людей при степени разрушения зданий			
	слабая	средняя	сильная	полная
Общие	0,05	0,2	0,6	1
Безвозвратные	0	0,05	0,4	0,95
Санитарные	0,05	0,15	0,2	0,05

Законы поражения людей в поврежденных зданиях АЗС, полученные по формуле (15), приведены на рис. 5.

Законы поражения людей на открытой местности при воздействии взрывной волны приведены на рис. 6 /7/.

При проведении расчетов для каждой площадки (рис. 3) подготавливаются исходные данные, включающие данные о здании и плотности людей. В ходе расчетов определяются значения возможных давлений и их вероятности с учетом дрейфа облака и повторяемости направлений ветра.

Тогда математическое ожидание потерь $\Delta M(N)$ на площадке с координатами x, y , при известной интенсивности поражающего фактора, можно определить по формуле

$$\Delta M(x, y) = P[\Phi(x, y)] \cdot \Psi(x, y) \cdot \Delta x \cdot \Delta y, \quad (19)$$

где $\Psi(x, y)$ – плотность людей в пределах площадки;

Δx и Δy – размеры, площадки;

$P[\Phi(x, y)]$ – вероятность поражения людей в точке с координатами x, y при воздействии поражающего фактора Φ .

Ожидаемое число пострадавших в целом в районе АЗС можно определить, суммируя потери по площадкам

$$M(N) = \iint_S P[\Phi(x, y)] \cdot \Psi(x, y) \cdot dx \cdot dy, \quad (20)$$

где S – область интегрирования.

При заблаговременном определении математического ожидания потерь необходимо учитывать дрейф облака и повторяемость направления ветра в течение года (розу ветров). В этом случае ожидаемые потери можно определить из выражения

$$M(N) = \iint_S \int_0^{2\pi} \int_0^{L_{\max}} P[\Phi(x, y)] \cdot \Psi(x, y) \cdot f(L) \cdot \varphi(V) \cdot dL \cdot dV \cdot dx \cdot dy, \quad (21)$$

где $\pi = 3,14$;

$f(L)$ и $\varphi(V)$ – функции плотности распределения вероятностей соответственно дрейфа облака и повторяемости направлений ветра за год.

В зависимости от решаемой задачи определяются общие, безвозвратные или санитарные потери. В этом случае ожидаемое число пострадавших с i -ми условиями размещения при j -м режиме взрывного горения $M_{ij}(N)$ определяется по формуле

$$M(N) = \sum_{j=1}^2 d_j \sum_{i=1}^2 \alpha_i M_{ij}(N), \quad (22)$$

где α_i – доля людей в i -х условиях размещения

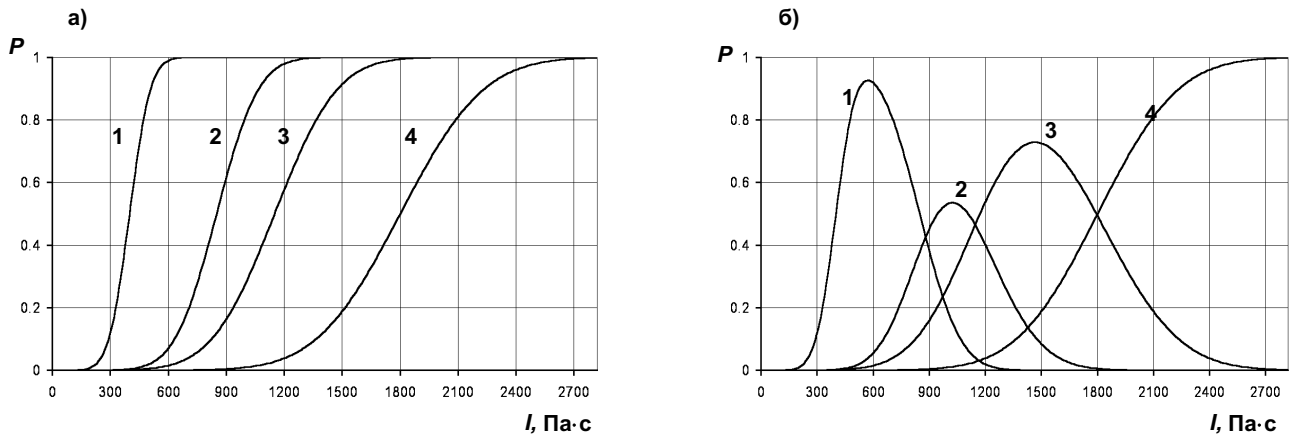


Рисунок 4. Законы разрушения зданий АЗС на воздействие импульса:
 а) вероятность возникновения не менее определенных степеней разрушения зданий;
 б) вероятность возникновения определенных степеней разрушения зданий
 Степени разрушения: 1 – слабая; 2 – средняя; 3 – сильная; 4 – полная

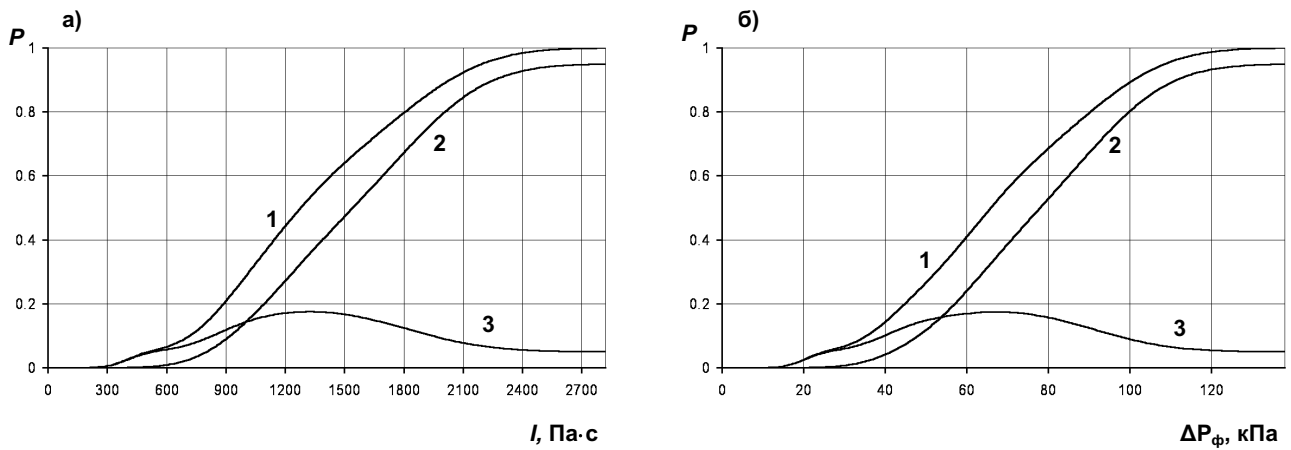


Рисунок 5. Законы поражения людей в зданиях АЗС:
 а) на воздействие импульса; б) на воздействие давления;
 1 – общие потери; 2 – безвозвратные; 3 – санитарные

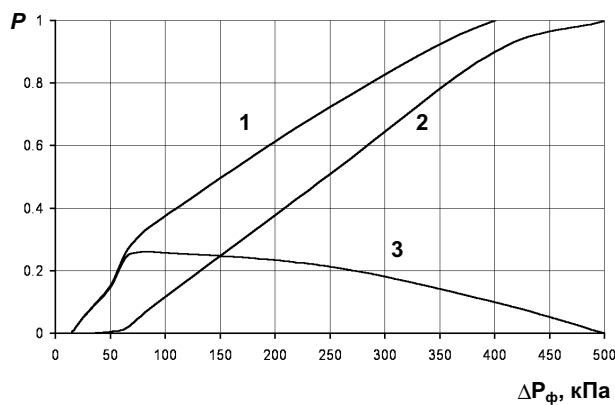


Рисунок 6. Законы поражения людей на открытой местности при воздействии взрывной волны:
 1 – общие потери; 2 – безвозвратные; 3 – санитарные

(в расчетах принято $\alpha_1 = 0,8$ – на открытой местности; $\alpha_2 = 0,2$ – в зданиях);

d_j – вероятность j -го режима взрывного горения (в расчетах принимается $d_1 = d_2 = 0,5$).

С учетом изложенного, вероятность поражения людей в районе АЗС можно вычислить по формуле

$$P = \frac{1}{N} \iint_S \int_0^{2\pi} \int_0^{L_{max}} P[\Phi(x,y)] \cdot \Psi(x,y) \cdot f(L) \cdot \varphi(V) \cdot dL \cdot dV \cdot dx \cdot dy, \quad (23)$$

а индивидуальный риск гибели человека из уравнения

$$R = \frac{H}{N} \iint_S \int_0^{2\pi} \int_0^{L_{max}} P[\Phi(x,y)] \cdot \Psi(x,y) \cdot f(L) \cdot \varphi(V) \cdot dL \cdot dV \cdot dx \cdot dy, \text{ год}^{-1}, \quad (24)$$

где N – общее число людей на рассматриваемой площади (области интегрирования по площади) АЗС;

H – частота взрывного горения, год^{-1} .

Моделирование аварий по сценарию «взрыв при большом дыхании».

В качестве типовой принята АЗС, в состав которой входят: 4 емкости по 30 м^3 каждая; здание операторной; 4–8 колонок; 4–8 автомобилей клиентов (рис. 7).

Размеры АЗС в среднем составляют $50 \times 50 \text{ м}^2$. Общая численность работающих на АЗС 12–15 чел. (8 операторов, работающих по 2 чел. через трое суток на четвертые; 1 уборщик территории; 1–2 слесаря; 1–3 заправщика; руководитель АЗС). Итак, на территории АЗС может находиться 10–17 чел.

В целях прогнозирования рисков разработана компьютерная программа «RISK».

Ожидаемое число погибших на АЗС в случае аварии со взрывом облака БВС может составить 1–2 чел., а общее число пострадавших – 3–4 чел.

Исследование эффекта «домино». В реальных условиях возможно возбуждение вторичных взрывов вследствие передачи детонации от первичного взрыва другим взрывоопасным объектам – бакам с бензином машин клиентов. В этом случае поражение элементов риска будет происходить от совокупности воздействия всех взорвавшихся объектов.

При решении задачи учитывается, что взрывоопасные объекты находятся на расстояниях 4–12 м до источника воздействия. Поэтому необходимо принимать во внимание взаимодействие ударно-волновых полей. Выход из строя соседних машин со взрывом бензобаков примет равным 100 кПа . Взаимодействие ударно-волновых полей ориентировочно учтем по формулам отраженных ударных волн.

На рис. 8 показаны ударно-волновые поля при моделировании эффекта «домино» на АЗС. Расчеты показывают, что в случае взрыва облака БВС и при наличии машин клиентов на заправке детонация от первичного взрыва может распространиться на взрывоопасные мишени, находящиеся на расстоянии 12 м от емкости и 6 м друг от друга. При вторичных взрывах могут быть повреждены 4 легковых

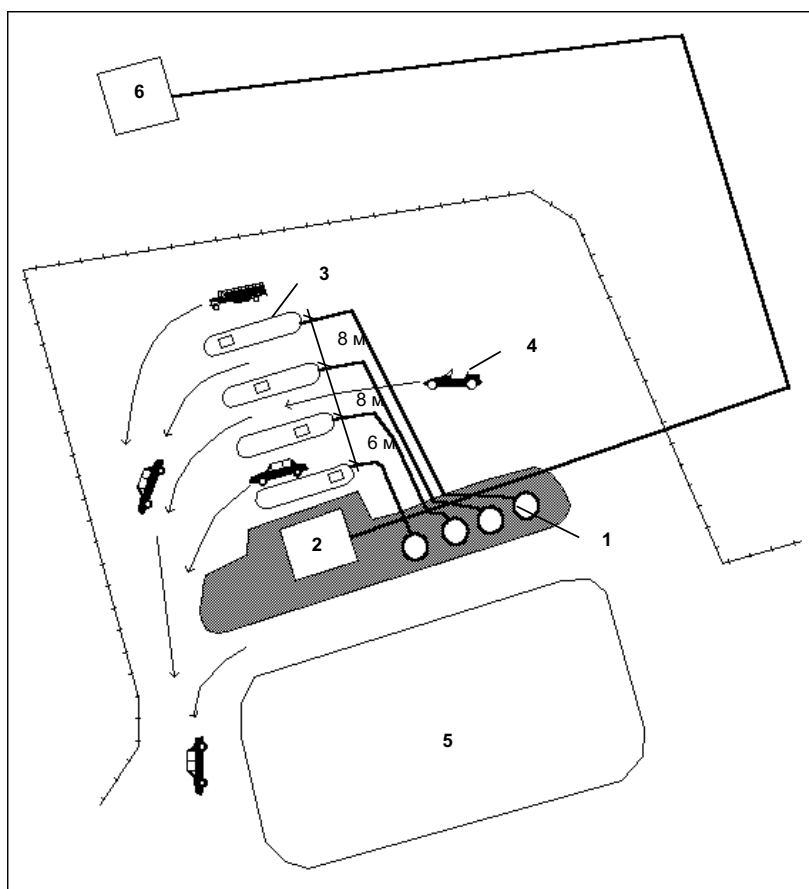


Рисунок 7. Схема «типовой» АЗС:

- 1 – заглубленные резервуары; 2 – операторная; 3 – топливораздаточные колонки; 4 – автомобили клиентов; 5 – площадка парковки;
- 6 – трансформаторная подстанция

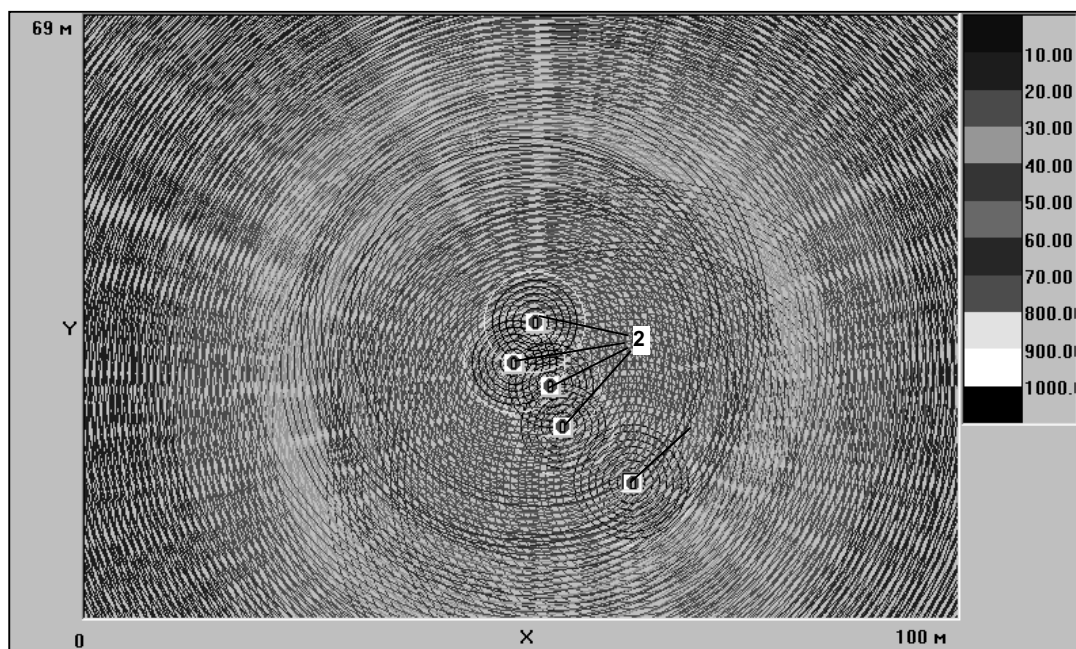


Рисунок 8. Ударно-волновое поле при аварии на АЗС с учетом эффекта «домино»: 1 – емкость; 2 – автомобиль клиента

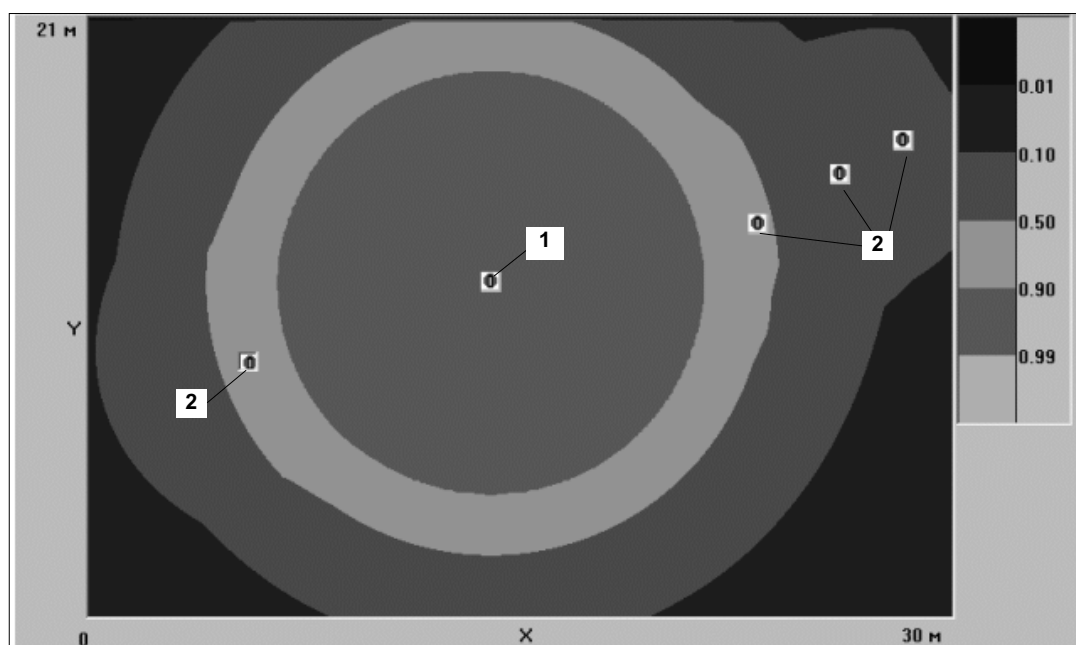


Рисунок 9. Поле вероятностей общего поражения людей при аварии на АЗС с учетом эффекта «домино»: 1 – емкость; 2 – автомобиль клиента

автомобиля с 20 литрами бензина. В этом случае площадь поражающего потенциала ударно-волнового поля увеличи – лась в три раза.

На рис. 9 показано поле вероятностей общего поражения людей при вторичном взрыве трех легковых автомашин, в баках которых было 15 кг топлива. Произошел эффект «доми-но», в результате все объекты на АЗС взорва-лись. Площадь, в пределах которой возможно поражение людей, значительно увеличилась.

Зонирование территории вблизи АЗС по величине риска гибели человека было проведено с использованием ГИС-технологии.

Расчеты для «типовой» АЗС показали, что риск гибели человека при аварии со взрывом облака БВС может составить $R = 7,4 \cdot 10^{-6}$ 1/год, что превышает допустимое значение, равное $R = 10^{-6}$ 1/год.

При зонировании территории вблизи АЗС по риску вначале проводилась оценка индивидуального риска гибели человека для каждой площадки. Затем точки с одинаковыми значениями риска соединялись изолиниями. При картировании область рисков разделена на четыре диапазона (рис. 10):

- 1) пренебрежительно малый риск $10^{-8} - 10^{-7}$;
- 2) малый риск $10^{-7} - 10^{-6}$;
- 3) повышенный риск $10^{-6} - 10^{-5}$;
- 4) высокий риск более 10^{-5} .

Для зонирования территории г. Москвы по риску был разработан ГИС-проект. Структура ГИС включает базы данных по составу и размещению АЗС, математическим моделям и отчетной документации.

База данных включает картографическую М 1:10000 и семантическую информацию в це-



Условные обозначения

- — $10^{-8} - 10^{-7}$ – пренебрежительно малый риск
- — $10^{-7} - 10^{-6}$ – малый
- — $10^{-6} - 10^{-5}$ – повышенный
- — более 10^{-5} – высокий

М 1: 200 000

Рисунок 10. Распределение индивидуальных рисков гибели людей при возможных взрывах облаков паровоздушных смесей на АЗС в районе проспекта Мира

лом по городу и отдельным АЗС. Массивы информации по АЗС содержат сведения об их размещении, объеме топлива, количестве емкостей, численности персонала. Информация по городу содержит сведения о домах и размещении населения.

Блок математических моделей разделен на четыре группы: законы воздействия; законы поражения; модели прогнозирования ущерба; модели количественной оценки риска.

Технология зонирования по риску заключается в следующем. Территория города разбивается на элементарные площадки (размером 5×5 м²). В пределах каждой площадки определяется интенсивность поражающего фактора и характеристики сопротивляемости элементов риска. Оценка интенсивностей поражающего

фактора проводилась с учетом влияния возможного дрейфа облака БВС и направления ветра.

Отображение средствами ГИС зон с различной величиной риска дает интегральное представление об опасности и об устойчивости элементов риска к поражающим факторам.

Выводы

В соответствии с ГОСТ Р 12.3.047-98 к зонам с повышенным риском относят территорию, в пределах которой вероятность гибели человека составляет более 10^{-6} год⁻¹. Следовательно, зона вокруг АЗС является зоной с повышенным риском. Учитывая, что в городах эксплуатируется большое количество АЗС, такое зонирование является актуальным.

Список использованной литературы:

1. Глинка Н.Л. Общая химия / Под ред. А.И. Ермакова. – М.: Интеграл-Пресс, 2002. – 728 с.
2. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
3. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
4. Методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах / Бодриков О.В., Елохин А. Н., Рязанцев Б.В. и др. – М.: МЧС России, 1994.
5. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2. Гельфанд Б.Е., Дорофеев С.Б., Сидоров В.И. и др. – ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. – 224 с.
6. Теоретические основы реагирования на чрезвычайные ситуации. Механика разрушения / Под ред. В.И. Ларионова. – М.: 1999. – 276 с.
7. Акатьев В.А., Ларионов В.И., Ткачев В.Д. и др. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / Под ред. С.К. Шойгу. – М.: Папирус, 1998. – 176 с.
8. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Сущев С.П., Акатьев В.А. и др. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 6 / Под ред. В.А. Котляревского. – М.: Изд. АСВ, 2003. – 403 с.