



2004

www.safety.ru

УДК 389.17:006

© А.М. Козлитин, 2004

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

А.М. КОЗЛИТИН, канд. техн. наук (Саратовское региональное отделение РЭА)

Безопасность Труда в Промышленности

© А.М. Козлитин

www://risk-2005.narod.ru/

kammov@gmail.com

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

А.М. Козлитин, канд. техн. наук, доцент (Саратовское региональное отделение РЭА)

Активная политика государства в области решения проблем промышленной безопасности, принятый федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 №116-ФЗ, разработанные специалистами ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России основы нормативно-методической базы анализа риска [РД 03-418-01], создали объективные условия для внедрения методологии анализа риска в практику обеспечения промышленной безопасности. На этой основе активизировалась и научно-исследовательская деятельность в данной области знаний – поиск, разработка и совершенствование методов количественной оценки риска аварий и научного обоснования критериев приемлемого риска. Один из возможных подходов к расчету количественных показателей риска аварий на опасных производственных объектах рассматривается в данной статье.

Безопасность техносферы трактуется в научной и нормативной литературе, как степень защищенности реципиента (человека, материальных объектов, экосистем) от чрезмерной опасности, исходящей от созданных и функционирующих сложных технических систем при возникновении и развитии аварийных ситуаций.

В этой связи, для определения уровня безопасности реципиента, нами используется [1, 2] интегрированный риск непосредственного воздействия чрезмерной опасности, отражающий конечный предполагаемый эффект в виде ожидаемого ущерба $R(Y_{\Sigma}) = R(Y_C) + R(Y_M) + R(Y_{\text{Э}})$, выраженный в едином стоимостном эквиваленте и объединяющий (интегрирующий) в себе риски социального $R(Y_C)$, материального $R(Y_M)$ и экологического $R(Y_{\text{Э}})$ ущербов.

Основой для вычисления показателей интегрированного риска является распределение потенциального риска по территории – поле потенциального риска в пределах круга вероятного поражения (КВП). Последний интерпретируется автором как площадь внутри окружности с центром в точке реализации опасности, за пределами которой вероятность поражения реципиента риска исчезающе мала. Радиус окружности, ограничивающей данную территорию, определяется установленным для рассматриваемого реципиента риска порогом воздействия основного поражающего фактора при реализации на опасном производственном объекте (ОПО) постулируемой максимальной гипотетической аварии.

Характер поля потенциального риска вокруг ОПО существенно зависит, как от типа опасности, так и от вида реципиента. То есть поле потенциального риска поражения человека не совпадает с полем потенциального риска поражения материального объекта и не совпадает с полем потенциального риска поражения экосистем. Естественно, не совпадают и поля потенциальных рисков токсического, фугасного и теплового поражения. Следовательно, и математические модели потенциального риска для каждого типа опасности и вида реципиента будут различны.

Рассматриваемый подход к анализу риска предполагает определение для конкретного вида реципиента интегрального (суммарного) поля потенциального риска от источника конкретной опасности для всего множества рассматриваемых сценариев реализации данной опасности. Если анализу подвергается не один объект, а система объектов, распределенных по территории, или единичный объект является источником различных типов опасностей, то проводится суммирование полей потенциального риска для рассматриваемого вида реципиента от каждого источника или типа опасности.

Остановимся более подробно на последовательности количественной оценки риска социальных последствий возможных аварий, связанных с людскими потерями. Основными характеристиками случайной величины людских потерь при возможных авариях на опасном производственном объекте являются социальный риск, показывающий масштаб катастрофичности реализации опасности, и риск социального ущерба $R(Y_C)$, определяющий в стоимостном эквиваленте ожидаемое количество пораженных в результате возможной аварии.

Социальный риск как количественная мера опасности в РД 03-418-01 представлен в виде функции распределения потерь F (где F – частота события, при котором могут пострадать более N человек), позволяющей учитывать отдельно вероятности и последствия реализации опасности в виде F/N -диаграмм [3].

Риск социального ущерба $R(Y_C)$, как составляющая интегрированного риска, представлен математическим ожиданием людских потерь или, в принятой в промышленной безопасности терминологии, коллективным риском R_K , выраженным в стоимостном эквиваленте человеческой жизни $R(Y_C) = R_K \cdot ЦСЖ$.

Величина ЦСЖ - цена спасения жизни человека – в обобщенном виде обоснована автором, как средневзвешенная по наиболее значимым и рисковым областям и сферам жизнедеятельности величина затрат для дополнительного спасения жизни каждого следующего индивидуума [1, 2, 4]. Учитывая значительную неопределенность данной величины, предлагается при расчетах брать несколько значений ЦСЖ – нижнее (600 тыс. руб.), среднее (1,0 мил. руб.) и верхнее (1,4 млн. руб.). Данные значения ЦСЖ хорошо коррелируются с оценкой средней стоимости человеческой жизни в России [5].

Для лица принимающего решения необходимо иметь не только информацию о масштабах катастрофичности последствий возможных аварий на ОПО в виде F/N -диаграмм и предельных кривых, но и картину распределения ожидаемого количества пораженных в виде поля коллективного риска на прилегающей к объекту территории. Его характер позволяет исследователю видеть наиболее опасные участки территории и на этой основе давать рекомендации для соответствующих организационных, управленческих и инженерных решений.

Метод картирования коллективного риска, определяющий распределение ожидаемого количества пораженных людей по территории в пределах КВП, может быть реализован для источника любого типа опасности – токсического, фугасного или теплового поражения. Рассмотрим в качестве примера метод картирования коллективного

Оценка коллективного риска. В основу коллективного риска R_K положена формула $R_K = \sum_{i,j} R(x_i, y_j) \cdot P(N, x_i, y_j) \cdot N(x_i, y_j)$, функционально связывающая вероятность реализации поражающего фактора за интервал времени Δt , как правило, за год, в рассматриваемых элементарных площадках территории и ущерб, нанесенный данным поражающим фактором в пределах каждой из рассматриваемых площадок.

Для реализации данной зависимости карта прилегающей к объекту территории разбивается на элементарные площадки – ij -квадраты (рис. 1). Точка, расположенная в центре каждого квадрата, имеет условные координаты (x_i, y_j) . Координаты рассматриваемых точек сетки карты, с шагом дискретизации δ , равны $x_i = \delta \cdot (i + 0.5)$, $y_j = \delta \cdot (j + 0.5)$ и изменяются в диапазоне значений $i = \overline{0, n}$ и $j = \overline{0, n}$, где n определяется радиусом r_0 круга вероятного поражения $n = 2 \cdot r_0 / \delta$. Масштаб карты и шаг дискретизации выбираются в зависимости от требуемой точности расчета и размеров КВП.

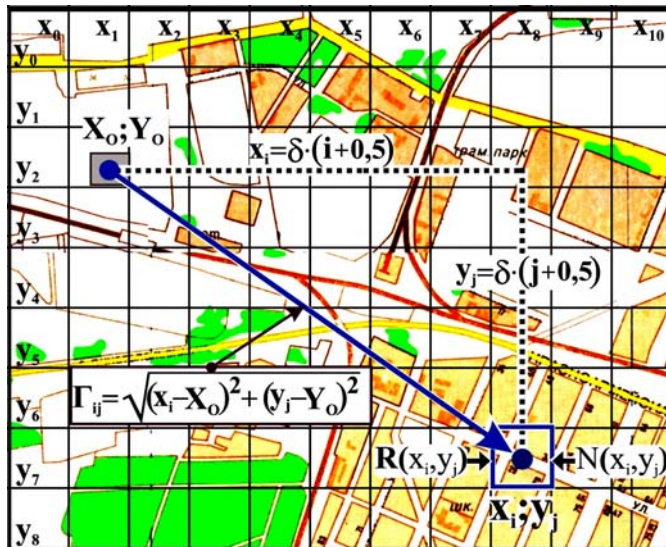


Рис. 1. Карта территории с нанесенной сеткой условных координат

Для групп людей $N(x_i, y_j)$, находящихся в ij -квадрате с примерно одинаковыми условиями поражения и временем пребывания, определяется математическое ожидание $N_{ij}^{P(N, x, y)}$ числа людей, подверженных риску поражающего воздействия, и формируется $(n \times n)$ -матрица $\|N_{ij}^{P(N, x, y)}\|$, взвешенная по вероятностям $P(N, x_i, y_j)$ нахождения людей в данных квадратах.

Вероятность реализации поражающего фактора за рассматриваемый интервал времени в каждом из рассматриваемых квадратов территории характеризуется распределением потенциального риска $R(x_i, y_j)$.

Матрица распределения людей по ij -квадратам территории. Распределение населения на прилегающей к объекту территории не равномерно. Селитебная территория представляет собой совокупность мест массового скопления людей (жилые массивы, предприятия, организации, учреждения, учебные заведения, лечебные, спортивные и другие комплексы), время пребывания в которых меняется в течение суток. Данный фактор пространственно-временной неоднородности жизнедеятельности че-

kammov@gmail.com

ловека на прилегающей к объекту территории достаточно сложно формализовать математически. Один из возможных путей решения этой проблемы – построение матрицы $\left\| N_{ij}^{P(N,x,y)} \right\|$ математического ожидания числа людей, подверженных риску поражающего воздействия в рассматриваемых квадратах территории. Каждый ij -элемент данной матрицы определяется из выражения

$$N_{ij}^{P(N,x,y)} = \sum_{r=0}^{\theta} N_r^Z \cdot P_r^Z(\Delta\tau) + \sum_{q=0}^{\omega} N_q^O \cdot \frac{\Delta S_{qij}^O}{S_q^O} \cdot P_q^O(\Delta\tau) + \rho_k \cdot \Delta S_{ij}^C \cdot P^C(\Delta\tau), \quad (1)$$

где $N_{ij}^{P(N,x,y)}$ - математическое ожидание числа людей, расположенных в пределах ij -квадрата территории с координатами (x_i, y_j) и объединенных в группы с одинаковыми условиями поражения и временем пребывания в r -м здании, на q -м объекте, в жилом массиве; N_r^Z - число людей, сосредоточенных в r -м здании (школа, институт, больница и т.п.), показанном на топографических картах соответствующим условным знаком; $P_r^Z(\Delta\tau)$, $P_q^O(\Delta\tau)$ и $P^C(\Delta\tau)$ - вероятности нахождения среднестатистического индивидуума из рассматриваемых групп людей с одинаковым временем пребывания соответственно в r -м здании, на q -м объекте и на территории жилого массива; N_q^O - число людей, распределенных по территории q -го объекта (завод, предприятие, организация, стадион и т.п.), занимающего на карте определенную площадь S_q^O ; ΔS_{qij}^O - доля площади q -го объекта в пределах ij -квадрата территории; ΔS_{ij}^C - доля площади жилого массива в пределах ij -квадрата территории; ρ_k - плотность людей на заселенной территории k -го района города; θ , ω - количество объектов соответствующего назначения в пределах ij -квадрата территории.

Степень детализации инфраструктуры города определяется полнотой и доступностью исходной информации, а также масштабом карты.

Учитывая тот факт, что в основе количественной оценки риска лежит вероятность возникновения аварии на ОПО за определенный период его функционирования, как правило, за год, величина вероятности $P(\Delta\tau)$ рассчитывается как доля времени $\Delta\tau$ пребывания среднестатистического индивидуума из рассматриваемой группы людей в указанном месте компактного их размещения также за год:

$$P(\Delta\tau) = \frac{\Delta w_\Gamma \cdot \Delta d_\Gamma \cdot \Delta \tau_\Gamma}{\tau}, \quad (2)$$

где Δw_Γ , Δd_Γ , $\Delta \tau_\Gamma$ – число соответственно недель в году, дней в неделю и часов в день, когда среднестатистический индивидуум подвергается риску поражающего воздействия, находясь в указанном месте компактного размещения рассматриваемой группы людей; τ – число часов в году.

Полагая в уравнении (1) значения вероятностей $P(\Delta\tau)$ равными единице определяем максимально возможное число людей $N(x_i, y_j)$, которое в момент аварии одновременно может оказаться в пределах рассматриваемого ij -квадрата территории с координатами (x_i, y_j) и на этой основе формируем матрицу $\|N_{ij}\|$. В целях формализации расчетов распределения индивидуального риска на прилегающей к объекту территории, определяем средний показатель вероятности нахождения среднестатистического

индивидуума $P(N, x_i, y_j) = \frac{N_{ij}^{P(N, x, y)}}{N(x_i, y_j)}$ в пределах рассматриваемого ij -квадрата территории с координатами (x_i, y_j) и строим матрицу $\|P_{ij}^{N(x, y)}\|$.

Учитывая процедуру определения $N_{ij}^{P(N, x, y)}$ и $P(N, x_i, y_j)$, можно видеть, что в основу данных величин положено время пребывания среднестатистического индивидуума

из каждой рассматриваемой группы компактного размещения людей в пределах ij -квадрата территории с координатами (x_i, y_j) .

Рассмотрим на конкретном примере последовательность формирования матриц $\|N_{ij}^{P(N, x, y)}\|$, $\|N_{ij}\|$ и $\|P_{ij}^{N(x, y)}\|$.

На рис. 2 показан фрагмент карты территории крупного промышленного центра, включающего некоторые объекты инфраструктуры города, соответствующие данные по каждому из них приведены в таблице.

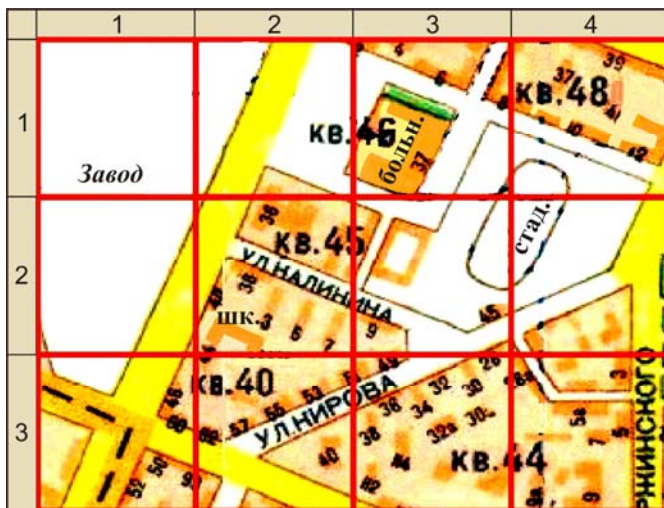


Рис. 2. Фрагмент карты территории крупного промышленного центра

Объект	Количество человек	Число недель отпуска, каникул, не функционирувания	Продолжительность пребывания в пределах рассматриваемой территории или объекта			Вероятность пребывания, $P(\Delta\tau)$
			часов в день $\Delta\tau_d$	дней в неделю Δd_w	недель в году Δw_y	
Завод	1192	4	8	5	48	0,22
Школа	560 (две смены)	14	6×2	6	38	0,313
Стадион	$N_{max}=30$ тыс.	32	4	1	20	0,01
	$N_{5\%}=1,5$ тыс.		6	5	20	0,07
Больница	573	—	24	7	52	1
Центральный р-н города	9298 чел/км ² *)	Вероятность нахождения индивидуума на территории жилого массива принята, на основании анализа среднестатистических данных о местах пребывания людей в течение суток [7]				0,6

*) Плотность населения определялась по площади заселенной территории рассматриваемого района

Учитывая уравнения (1), (2) и приведенные в таблице значения $P(\Delta\tau)$, построим для рассматриваемого фрагмента карты искомые матрицы (рис. 3).

		1	2	3	4
$\ N_{ij}^{P(N,x,y)}\ =$	1	48	23	575	239
	2	39	337	167	204
	3	89	139	201	173
		1	2	3	4
$\ N_{ij}\ =$	1	218	72	651	7936
	2	180	829	10330	12070
	3	160	232	334	288
		1	2	3	4
$\ P_{ij}^{N(x,y)}\ =$	1	0.22	0.319	0.883	0.03
	2	0.22	0.407	0.016	0.017
	3	0.556	0.6	0.6	0.6

Рис. 3. Матрицы для рассматриваемого фрагмента карты

Оценка потенциального риска. Условия, в которых могут оказаться люди при аварийном выбросе ядовитого вещества на химически опасном производстве, носят случайный характер. Случайными величинами являются, как величина дозы D в пределах каждого из рассматриваемых квадратов территории, так и факт поражения человека при данном значении полученной токсодозы. Следовательно, чтобы измерить потенциал максимально возможной опасности токсического поражения человека $R(x,y)$ в рассматриваемых квадратах территории, необходимо знать

функцию $g(D,x,y)$, выражающую плотность вероятности формирования в пределах каждого из рассматриваемых квадратов определенной дозы $D(x,y)$ ядовитого вещества. Кроме того, необходимо знать вероятность токсического поражения человека $P(D,x,y)$ при условии, что в рассматриваемом квадрате территории доза превысит пороговый критерий воздействия PCt . Требуется также определить функцию распределения вероятностей $P(\varphi_k)$ среднегодового направления ветра для 8- или 16-румбовой розы ветров. При этом угол, определяющий направление ветра, принимает только дискретные значения φ_k ($k = 1, \dots, \eta$, где η – число румбов розы ветров).

Основываясь на сказанном, потенциальный риск токсического поражения человека $R(x,y)$ на прилегающей к химически опасному объекту территории представлен интегральной формулой полной вероятности

$$R(x,y) = P(\varphi_k) \cdot \int_{PCt}^{LCt} g(D,x,y) \cdot P(D,x,y) dD, \quad (3)$$

где $P(\varphi_k)$ – вероятность реализации ветра k -го направления; PCt , LCt – токсодозы соответственно пороговая и смертельная.

Определение функции $g(D,x,y)$. Вероятность формирования на рассматриваемой территории определенной дозы $D(x,y)$ химически опасного вещества зависит от целого ряда случайных событий, совокупность которых может привести к поражению человека. Эти случайные события связаны главным образом со стохастическим процессом реализации опасности на химически опасном объекте и выбросом ядовитого вещества, а также процессом рассеяния ядовитого облака в атмосфере и формированием поля поражающих факторов. Основным показателем тяжести последствий аварийного выброса на потенциально опасном объекте, при прочих равных условиях, является величина массы ядовитого вещества (M), участвующего в формировании поля дозовой нагрузки $D(x,y)$ на прилегающей территории. Масса аварийного выброса M является случайной величиной и характеризуется соответствующим вероятностным распре-

лением с плотностью распределения $f(M)$. Функция $f(M)$ определяется методами регрессионного анализа. При построении регрессионной модели [1, 2] исходными данными служат массив значений M , учитывающий весь спектр возможных аварийных выбросов от M_{\min} до M_{\max} в рассматриваемой группе сценариев и массив относительных частот появления соответствующих аварийных выбросов, взвешенных по условным вероятностям возникновения и развития аварий на химически опасном объекте. Функция $f(M)$ – кривая плотности распределения относительных частот, построенная для различных сценариев аварии с учетом их вероятности – важная характеристика технической системы, определяющая опасность объекта как источника аварийных

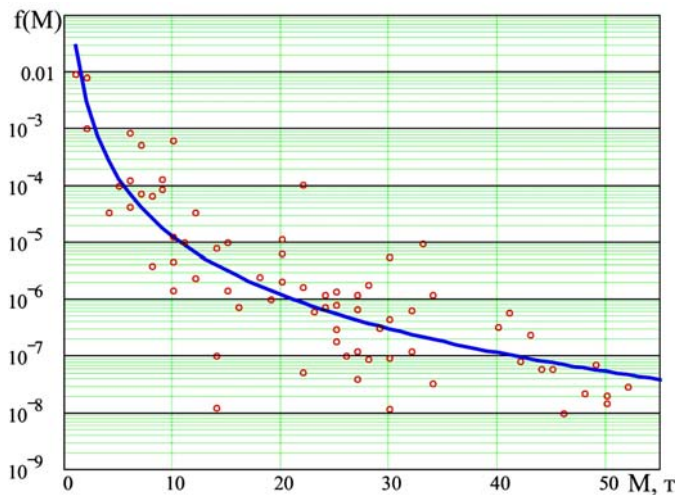


Рис. 4. Регрессионная модель плотности распределения относительных частот аварийных выбросов

выбросов. В качестве примера, на рис. 4 приведена регрессионная модель плотности распределения относительных частот аварийных выбросов на технологической установке реального предприятия химической промышленности.

Функция $f(M)$, определяет технический риск $R_T = \int_{M \in [\alpha, \beta]} f(M) dM$ (где α, β – пределы изменения массы аварийного выброса), т.е. вероятность отказов рассматриваемого технического устрой-

ва или системы с определенными последствиями за некоторый период функционирования опасного производственного объекта, как правило, за год.

Сценарии наиболее тяжелых по своим последствиям максимальных гипотетических аварий (МГА), параметры которых определены на «хвосте» функции $f(M)$, рассматриваются отдельно для каждого аварийного выброса. Один из возможных методологических подходов к количественной оценке риска МГА рассмотрен в статье [6].

После построения регрессионной модели $f(M)$, возникает задача определения вероятности формирования в пределах каждого квадрата прилегающей территории определенной дозы $D(x,y)$ ядовитого вещества. Для этого с привлечением методик прогнозирования последствий химических аварий, например изложенных в работах [7] или [8], позволяющих установить функциональную связь случайных величин $D(x,y)$ и M , находится функциональная зависимость $D(x,y) = \varphi(M,x,y)$, при фиксированных значениях соответствующих метеорологических условий (вертикальная устойчивость атмосферы, температура окружающего воздуха и скорость приземного ветра).

В пределах каждого из рассматриваемых квадратов территории зависимость $D(x,y) = \varphi(M,x,y)$ является монотонно возрастающей функцией на всем интервале значений $[M_{\min}, M_{\max}]$ непрерывного случайного аргумента M , плотность распределения $f(M)$ которого известна. На основе полученной зависимости и с учетом плотности распределения $f(M)$ случайного аргумента M , плотность распределения функции слу-

$$g(D, x, y) = f[\psi(D, x, y)] \cdot \left| \frac{d[\psi(D, x, y)]}{dD} \right|, \quad (4)$$

где $\psi(D, x, y)$ - функция, обратная функции $\varphi(M, x, y)$.

Определение параметрического закона поражения человека $P(D)$. Поражение человека при получении им определенной токсической дозы, носит случайный характер и описывается параметрической зависимостью «доза-эффект», в качестве которой используется аппроксимация параметрического закона токсического поражения человека распределением Вейбулла [1, 2]:

$$P(D) = \frac{\gamma}{\sigma} \int_0^D \left(\frac{Z}{\sigma} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\frac{Z}{\sigma} \right)^\gamma \right] dZ, \quad (5)$$

где $P(D)$ - вероятность токсического поражения соответствующей степени тяжести; σ, γ - параметры распределения Вейбулла для рассматриваемого ядовитого вещества и соответствующей степени тяжести поражения; D - текущее значение поглощенной

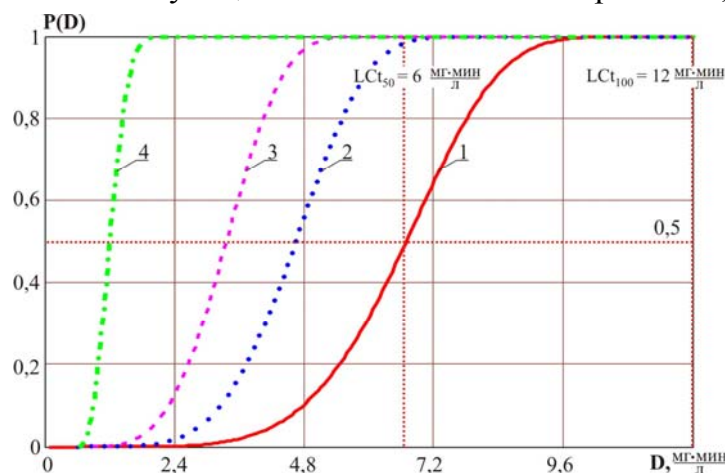


Рис. 5. Распределение Вейбулла для оценки вероятности поражения человека хлором

1 – летальный исход; 2 – тяжелые поражения;
 3 – поражения средней тяжести; 4 – легкие поражения

токсодозы в рассматриваемой точке пространства; Z - переменная интегрирования.

В качестве примера на рис. 5 показана зависимость вероятности $P(D)$ поражения человека хлором от величины полученной им токсодозы D .

Построение поля коллективного риска для рассматриваемой территории.

I этап. На основе полученной зависимости (3) определяется значение

функции $R(x,y)$ для ранжированных аргументов x_i и y_j в диапазоне их определения ($i = \overline{0, n}; j = \overline{0, n}$) и формируется $(n \times n)$ -матрица $\|R_{ij}\|$ потенциального риска с учетом вероятности $P(\varphi)$ распределения среднегодового направления ветра по румбам розы ветров. Каждый ij -элемент матрицы определяет уровень потенциального риска $R(x_i, y_j)$ в рассматриваемом ij -квадрате территории. Трехмерная поверхность распределения потенциального риска $R(x,y)$ по направлениям 8-румбовой розы ветров для реального предприятия химической промышленности показана на рис. 6.

Рассекая поверхность распределения $R(x,y)$ плоскостями, параллельными плоскостями (X,Y) , с различными фиксированными значениями потенциального риска $R(x,y) = R_0^p$ (где $R_0^p = \text{const}$), получаем кривые пересечения - изолинии равного по-

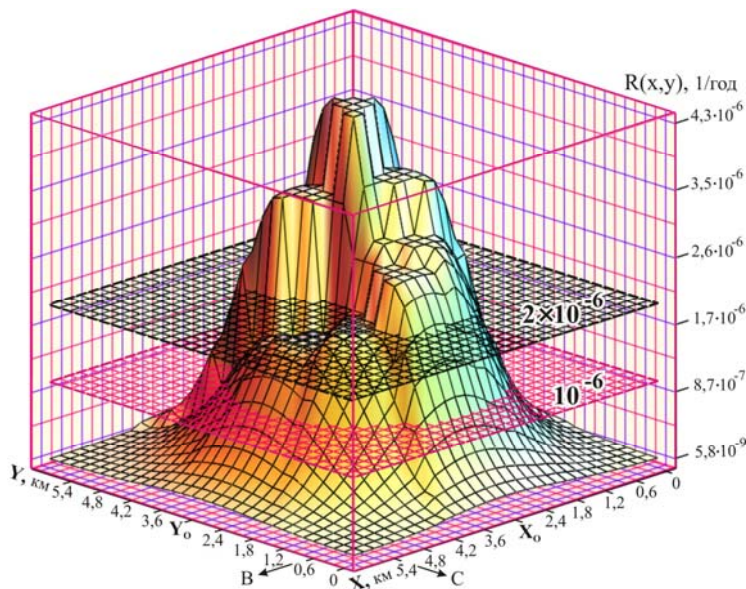


Рис. 6. Поверхность распределения потенциального риска

X_0, Y_0 – координаты источника опасности;
 С; В – расположение системы координат относительно сторон горизонта, соответственно севера и востока

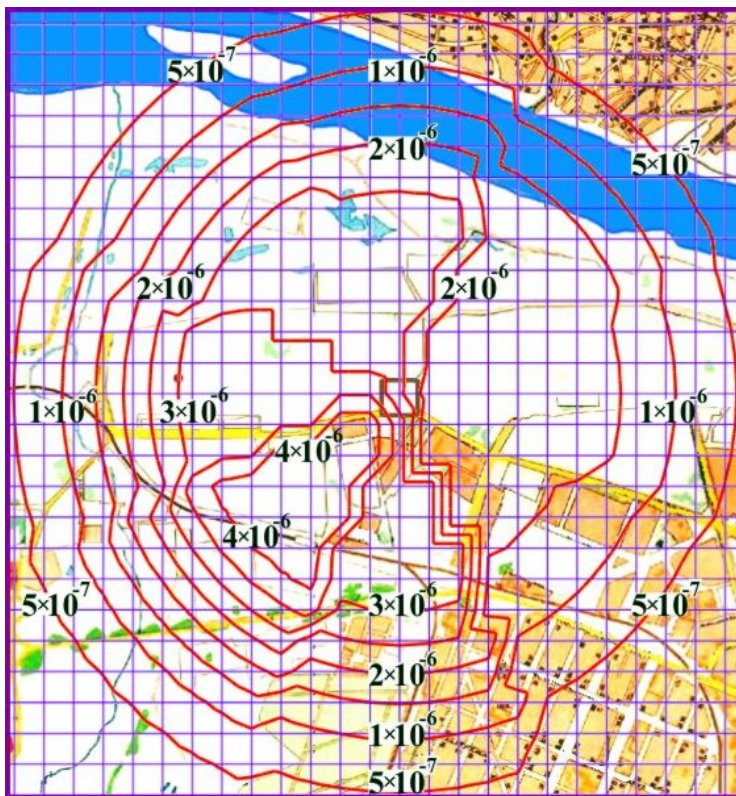


Рис. 7. Картированный потенциальный риск

одноименных ij -квадратах координатной сетки карты.

III этап. Используя описанный выше метод картирования риска, получаем серию изолиний равного коллективного риска (рис. 9). Изолинии, выстроенные на карте, ог-

тениального риска. Изолинии, выстроенные на карте в пределах КВП, определяют поле потенциального риска на прилегающей к объекту территории.

Картированный потенциальный риск для реального предприятия химической промышленности, показан на рис. 7.

II этап. Зная матрицы $\|R_{ij}\|$ и $\|N_{ij}^{P(N,x,y)}\|$, с учетом вероятности $P(N,x_i,y_j)$, определяем $(n \times n)$ -матрицу распределения коллективного риска по одноименным ij -квадратам координатной сетки карты:

$$\|R_{Kij}\| = \|R_{ij}\| \times \|N_{ij}^{P(N,x,y)}\|. \quad (6)$$

Распределение коллективного риска на прилегающей к объекту территории, для реального предприятия химической промышленности, показано на рис. 8.

Построенная в качестве примера в одних осях с трехмерным графиком распределения коллективного риска $R_K(x,y)$ секущая плоскость заданных значений социального риска, когда, например, 25 и более человек подвергаются опасности летального исхода с вероятностью 10^{-5} в год,¹⁾ позволяет выделить зоны с повышенным уровнем коллективного риска в

¹⁾ Рекомендации Управления по охране здоровья и промышленной безопасности (H&SE) для Великобритании. kammov@gmail.com

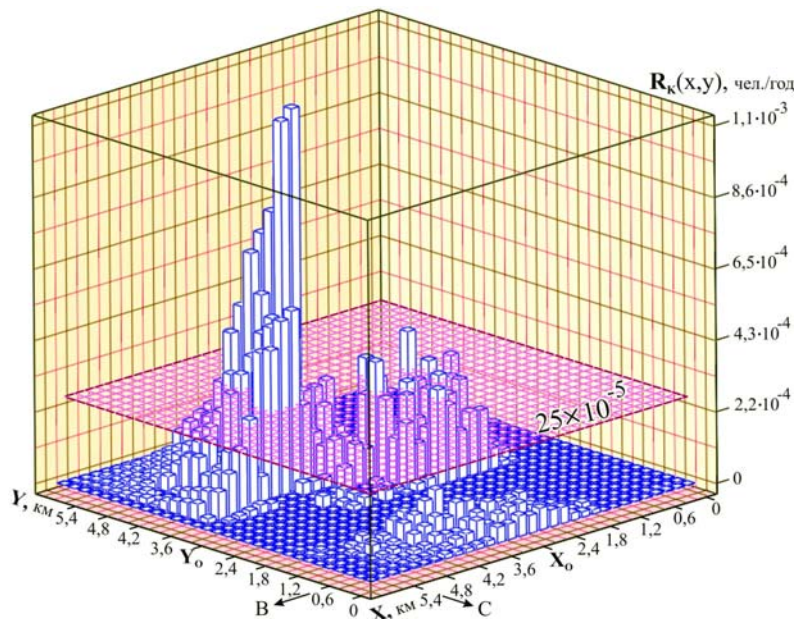


Рис. 8. Распределение коллективного риска

более неблагоприятным образом сочетаются составляющие коллективного риска – вероятность летального исхода в год $R(x_i, y_j)$ и численность групп людей $N(x_i, y_j)$ объединенных одинаковыми условиями поражения и временем пребывания с соответствующими вероятностями $P(N, x_i, y_j)$ нахождения данных групп людей в рассматриваемых квадратах.

Расчет распределения индивидуального риска. Используя $(n \times n)$ -матрицу $\|R_{ij}\|$ распределения потенциального риска по ij -квадратам на прилегающей к объекту территории и $(n \times n)$ -матрицу вероятностей нахождения среднестатистического индивидуума в рассматриваемых ij -квадратах $\|P_{ij}^{N(x,y)}\|$, сформируем $(n \times n)$ -матрицу распределения индивидуального риска по одноименным ij -квадратам прилегающей к опасному производственному объекту территории

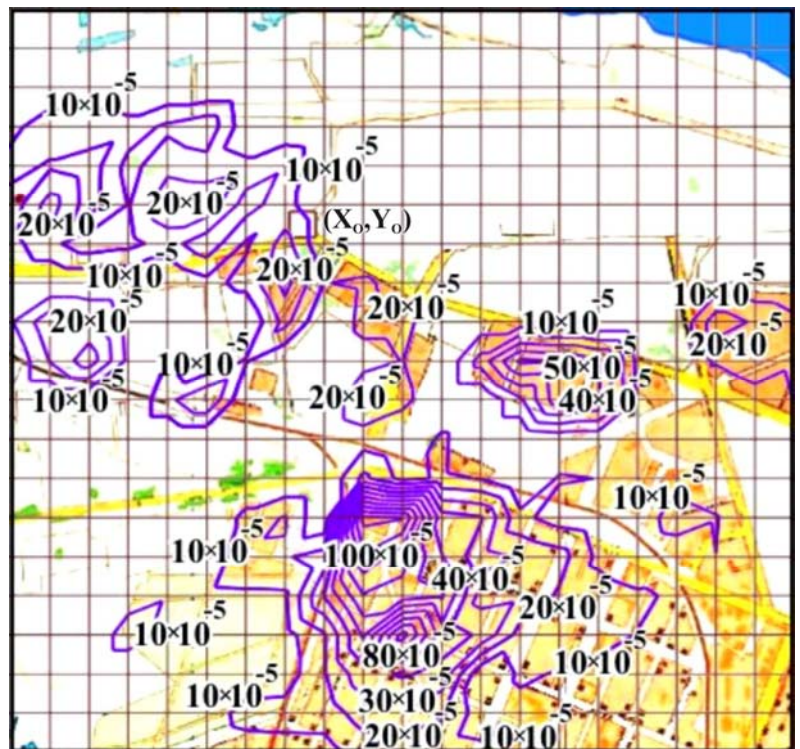


Рис. 9. Картированный коллективный риск 10×10^{-5} – обозначение изолинии риска, ограничивающей область, внутри которой с вероятностью 10^{-5} ожидаемое число смертей в год составит не менее 10 человек

$$\|R_{ind,ij}\| = \|R_{ij}\| \times \|P_{ij}^{N(x,y)}\|. \quad (7)$$

Каждый элемент матрицы $\|R_{ind,ij}\|$ определяет индивидуальный риск $R_{ind}(x_i, y_j)$ в рассматриваемом ij -квадрате территории. Гистограмма распределения индивидуального риска по ij -квадратам прилегающей к опасному производственному объекту территории для реального предприятия химической промышленности, приведено на рис. 10.

Для определения приемлемости индивидуального риска, в одних осях с графиком

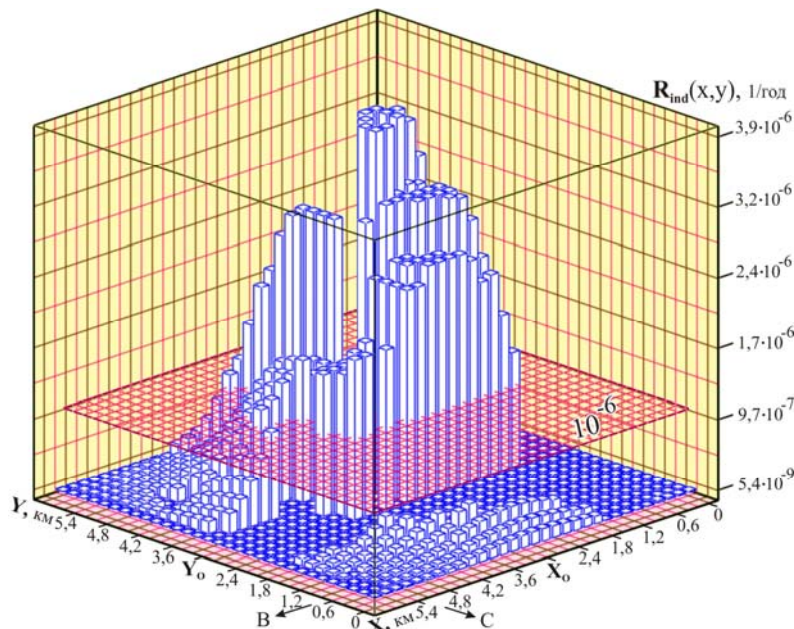


Рис. 10. Гистограмма распределение индивидуального риска

$R_{ind}(x,y)$ построена, в качестве примера, секущая плоскость равных заданных значений риска (например, 10^{-6} год $^{-1}$), которая позволяет выделить зоны повышенной опасности для селитебной территории.

На основе полученных матриц распределения коллективного риска $\|R_{K,ij}\|$ и распределения числа людей $\|N_{ij}\|$ по ij -квадратам территории, при необходимости, может быть рассчитан средний показатель ин-

дивидуального риска R_{ind}^{cp} для производственного персонала и населения, расположенного в пределах круга вероятного поражения и подверженного риску поражающего воздействия вследствие реализации всего спектра возможных аварий на рассматриваемом опасном производственном объекте

$$R_{ind}^{cp} = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n R_{K,ij}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n N_{ij}}. \quad (8)$$

Средний индивидуальный риск может трактоваться как доля, процент или как удельный показатель ожидаемой смертности в пределах определенной территории по причине возможной аварии на ОПО, но он не является по определению вероятностью смерти индивидуума в рассматриваемой точке этой территории. Однако R_{ind}^{cp} используется в ряде публикаций для зонирования территории вокруг потенциально опасного объекта по уровню риска, например в работе [9].

В этом случае, чтобы распределить ожидаемое число смертей между людьми N_k проживающими на определенной территории площадью S_k необходимым условием становится предположение о равномерном распределении населения на селитебной

территории вокруг опасного объекта. Тогда средний индивидуальный риск также будет равномерно распределен вокруг опасного объекта на рассматриваемой территории площадью S_k , оставаясь одинаковым для каждого жителя этой территории независимо от фактора его занятости и удаленности от места аварии, при условии, что данная площадь не выходит за пределы круга вероятного поражения. При картировании, в отличие от индивидуального риска, который определяется в каждой точке территории потенциальным риском и вероятностью нахождения индивидуума и отображается на карте изолинией равных значений R_{ind} , средний индивидуальный риск является площадной характеристикой и отображается на карте площадью равных значений R_{ind}^{cp} .

Изменяя, в сторону увеличения, с учетом выбранного шага дискретизации, радиус k -й зоны поражения с соответствующей площадью S_k , в пределах каждой из которых пропорционально увеличиваются суммарный коллективный риск и количество людей N_k , получаем серию картированных площадей равных значений среднего индивидуального риска. Причем, каждое последующее значение $R_{ind_{k+1}}^{cp}$ на площади S_{k+1} включает в себя коллективный риск и количество людей, учтенных в предыдущих значениях $R_{ind_k}^{cp}$ на площади S_k . В этой связи в качестве площади поражения необходимо рассматривать соответствующее приращение $\Delta S_k = S_{k+1} - S_k, (k = 0, \dots, n)$, что не всегда делается авторами подобных методик.

Гистограмма распределения среднего индивидуального риска по рассматриваемым площадям ΔS_k на территории вокруг реального предприятия химической промышленности показана, в качестве примера, на рис. 11.

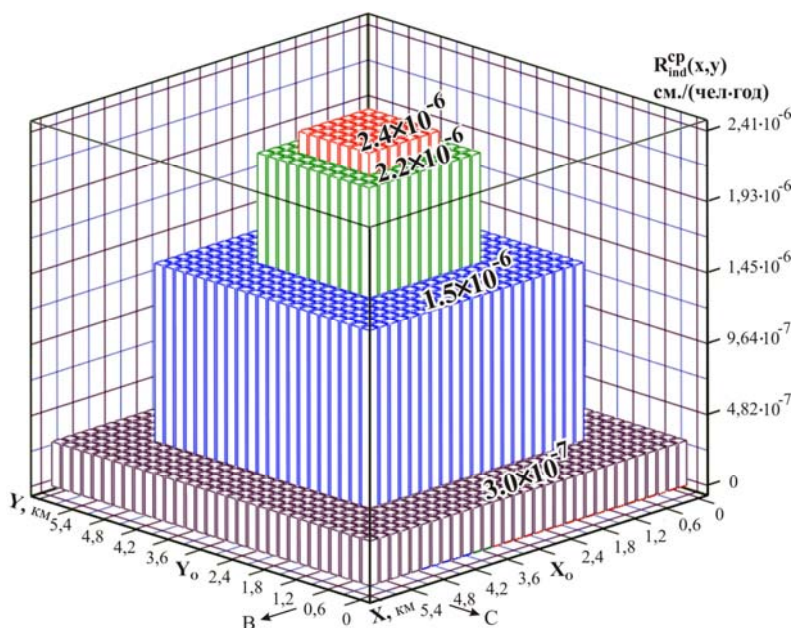


Рис. 11. Гистограмма распределения среднего индивидуального риска

Анализируя сказанное можно констатировать, что не совсем корректно использовать средний индивидуальный риск для зонирования прилегающей к опасному производственному объекту территории и решения задач управления безопасностью населения при техногенных авариях.

Более адекватен решению подобных задач классический метод, изложенный в РД 03-418-01, при котором в рассматриваемых точках территории вокруг объекта определяются

потенциальный риск R_{ij} и вероятность нахождения среднестатистического индиви-

дуума $P_{ij}^{N(x,y)}$ и на этой основе рассчитывается величина индивидуального риска по формуле (6). Такой подход позволяет учесть характер и специфику распределения населения на прилегающей территории и выявить зоны повышенного риска. Различия в зонировании территорий по R_{ind} и R_{ind}^{cp} наглядно демонстрируют гистограммы, представленные на рис.10 и 11.

Определение риска социального ущерба. Социальная составляющая интегрированного риска или, выраженный в стоимостном эквиваленте, ожидаемый социальный ущерб $R(Y_C)$, вследствие гибели людей на прилегающей к опасному объекту территории, определяется по формуле

$$R(Y_C) = R_K \cdot ЦСЖ, \quad (9)$$

где $R_K = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n R_{K_{ij}}$ – суммарный коллективный риск в натуральных показателях,

определяющий ожидаемое количество пострадавших в пределах круга вероятного поражения в результате аварии на объекте за определенный период функционирования опасного производственного объекта (как правило, за год).

Данная информация, получаемая с учетом вероятностей аварийных выбросов и характера распределения потенциального риска, особенностей селитебной территории и характера расположения производственного персонала и населения, может быть востребована, как на этапе эксплуатации или реконструкции опасного производственного объекта при обосновании инженерных, организационных и управленческих решений, направленных на предупреждение аварий, так и на этапе размещения или проектирования опасного производственного объекта при анализе приемлемости предложенных решений и выборе оптимальных вариантов или оценки альтернативных предложений по его размещению.

Выводы. Описанные методы количественного анализа риска позволяют получить объективную информацию о степени опасности объекта, ранжировать прилегающую территорию по уровню индивидуального, потенциального и коллективного риска, выявить, при наличии законодательно установленных критериев социального и индивидуального риска, зоны и территории, где уровни риска достигают или превышают значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятия определенных мер по снижению риска и обеспечению нормативной безопасности производственного персонала и населения.

Список литературы

1. Козлитин А.М., Попов А.И. Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы. Саратов: СГТУ, 2000. 216 с.

2. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы. Саратов: СГТУ, 2002. 180 с.

3. Основные показатели риска аварий в терминах теории вероятности / А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. 2002. № 7. С. 35-39.

4. Попов А.И., Козлитин А.М. Методологические подходы и количественная оценка риска чрезвычайных ситуаций в регионах с потенциально опасными объектами // Безопасность труда в промышленности. 1995. № 2. С. 10-14.

5. К вопросу об оценке стоимости человеческой жизни / И.А. Кручинина, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2003. №4. С. 72 – 75.

6. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на мазутных резервуарах ТЭЦ // Безопасность труда в промышленности. 2003. №1. С. 26 – 32

7. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка: детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учеб. пособие / Под ред. А.И. Попова. Саратов: СГТУ. 2000. 124 с.

8. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2): Сборник документов. Серия 27. Вып. 2. М.: ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2001. С. 121-204.

9. Ларионов В.И., Акатьев В.А., Александров А.А. Риск аварий на автозаправочных станциях // Безопасность труда в промышленности. 2004. №2. С. 44 – 48.