

changing its particulate content. In this case, the model developed adequately takes into account the meteorological conditions of particle dispersion, emission conditions, and the parameters of the wind rose, and can be considered as a tool for environmental mapping of industrial regions.

Practical value. Justification of the environmental and social effects of technological measures aimed at modernizing the gas cleaning equipment at the Dneprovsky Metallurgical Plant named after Dzerzhinsky. Reducing dust emissions and declining the share of small parti-

cles in dust will allow reducing the air contamination in neighborhoods, thus improving the living conditions of local population. The proposed approach base enables proper definition of sanitary protection zones around the enterprises that contaminate atmosphere, accounting for local conditions.

Keywords: *air pollution, particulates, dust emission, cleaning the emissions, atmospheric diffusion modeling*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.Є. Колесніком. Дата надходження рукопису 07.08.13.

УДК 519.218

**В.Ф. Стоецкий¹,
В.И. Голинько¹, д-р техн. наук, проф.,
Л.В. Дранишников², д-р техн. наук, проф.**

1 – Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г.Днепропетровск, Украина, e-mail: golinko@nmu.org.ua
2 – Днепродзержинский государственный технический университет, г.Днепродзержинск, Украина

ОЦЕНКА РИСКА ПРИ АВАРИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

**V.F. Stoetsky¹,
V.I. Golinko¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
L.V. Dranishnikov², Dr. Sci. (Tech.), Professor**

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: golinko@nmu.org.ua
2 – Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine, e-mail: dr-leon@yandex.ru

RISK ASSESSMENT IN MAN-CAUSED ACCIDENTS

Цель. Разработка методики расчета для анализа и оценки риска аварий техногенного характера на опасных производственных объектах, в частности, при выбросе токсичных веществ.

Методика. При анализе и оценке риска возникновения аварий был применен вероятностный метод анализа безопасности с использованием „дерева отказов“.

Результаты. Рассмотрены разные методологические подходы к оценке риска. Показано, что используемые в настоящее время в Украине методики прогнозирования позволяют определить только границы зоны порогового поражения. Предложена методика, которая позволяет производить количественные оценки риска, в частности, индивидуального, территориального и социального рисков. Рекомендовано использовать полученные оценки при декларировании промышленной безопасности потенциально опасных производственных объектов, экспертизе промышленной безопасности и разработке рекомендаций по уменьшению риска.

Научная новизна. Состоит в научном обосновании методики расчета для анализа и оценки риска аварий техногенного характера на опасных производственных объектах, отличающейся от известных тем, что при определении индивидуального риска учитывается природа аварии, время нахождения работающих в опасной зоне и их местонахождение, что позволяет с большей достоверностью проводить анализ и оценку индивидуального, территориального и социального рисков при выбросе отравляющих веществ.

Практическая значимость. Результаты анализа и оценки риска аварий используются при обосновании технических решений по обеспечению безопасности работы промышленных предприятий.

Ключевые слова: *безопасность, риск, анализ, вероятностные методы исследования*

Постановка проблемы. В последней трети XX столетия человечество вступило в новую фазу своего развития – фазу риска. *Общество риска* – это постиндустриальная формация общества. По мере его развития появляется все больше отрицательных факторов, действие которых неравномерно затрагивает членов общества. Заметим, что в индустриальном обществе вырабатываются и распределяются, главным образом, положительные достижения, а в

обществе риска, которое „вращается“ в индустриальное, между членами общества накапливаются и распределяются отрицательные последствия развития последнего. Таким образом, проблема риска как „предтечи“ экстремальных ситуаций исподволь, но неотвратимо становится одной из неотъемлемых характеристик национальной безопасности.

Выделение нерешенной проблемы. Расчет и анализ риска является тем методическим инструментом, при помощи которого потенциальная опасность может быть оценена количественно. Концептуальная

основа анализа риска предполагает использование методических подходов, математического аппарата и информационной базы, позволяющих ответить на следующие вопросы: 1) что может функционировать „неправильно“ (в нерабочем режиме)?; 2) каковы причины этого?; 3) каковы возможные последствия?; 4) насколько это вероятно?

В технологическом смысле анализ риска представляет собой последовательность действий, упорядоченную по следующим этапам: 1) числовая оценка риска; 2) анализ структуры риска; 3) управление риском.

Анализ последних исследований. Анализ риска заключается в построении множества всех сценариев возникновения и развития возможных аварий на объекте с последующей оценкой частоты реализации каждого из сценариев и определением масштабов последствий сценариев развития аварий. Ре-

зультаты анализа риска используются при: декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов, экспертизе промышленной безопасности, страховании, экономическом анализе безопасности по критериям „стоимость-безопасность-выгода“; оценке воздействия хозяйственной деятельности на окружающую природную среду и при других процедурах, связанных с анализом безопасности.

Оценка риска на производственном объекте предусматривает (рис. 1): 1) анализ опасностей производственного объекта; 2) построение всего множества сценариев возникновения и развития аварий, оценка частоты каждого из сценариев; 3) построение полей поражающих факторов аварий для различных сценариев их развития; 4) оценку последствий опасных факторов аварий для различных сценариев их развития; 5) вычисление риска.

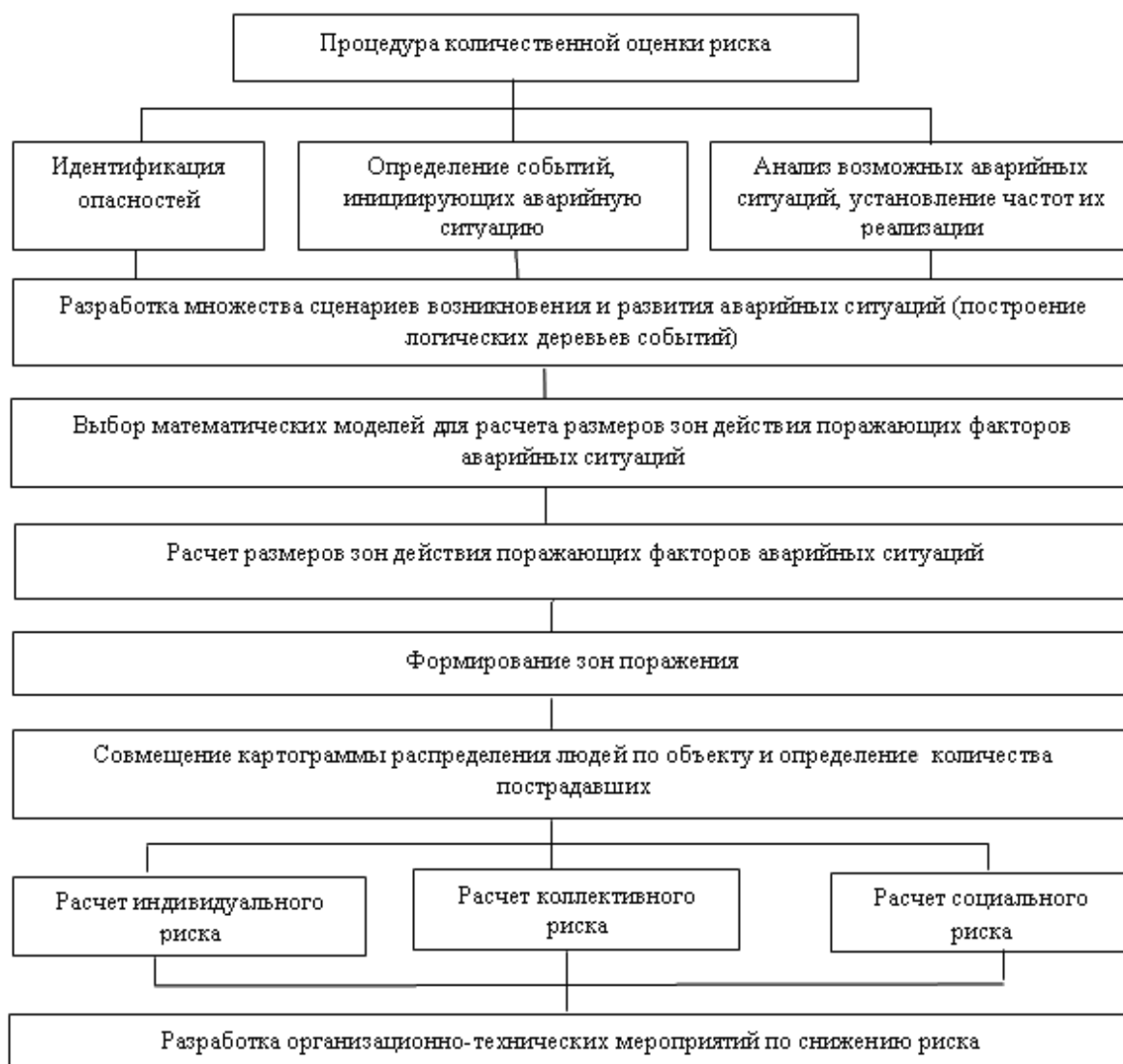


Рис. 1. Схема количественной оценки риска

Анализ опасностей производственного объекта предусматривает: анализ (пожарной, взрывной, токсичной) технологической среды и параметров техно-

логических процессов на производственном объекте; определение перечня аварийных (пожароопасных, взрывоопасных, токсичных) ситуаций и параметров

для каждого технологического процесса; определение перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать аварийную ситуацию для каждого технологического процесса; построение сценариев возникновения и развития аварий, повлекших за собой гибель людей.

Распространение выбросов опасных веществ в атмосфере и их воздействие на людей и окружающую среду являются важными факторами, определяющими тяжесть последствий аварий на опасных производственных объектах. К настоящему времени сложились три основных подхода для количественного описания процесса рассеяния выброса газообразных веществ в атмосфере [1, 2]: 1) гауссовские модели рассеяния, иногда называемые дисперсионными моделями; 2) модели рассеяния, базирующиеся на интегральных законах сохранения либо в облаке в целом (залповый выброс), либо в поперечном сечении облака (продолжительный выброс); 3) модели, построенные на численном решении системы уравнений сохранения в их оригинальном виде.

Последствия выброса опасных веществ определяются в три этапа: определение мощности и скорости выброса; определение распространения загрязняющего вещества после выброса; определение его воздействия на исследуемые объекты.

Формулирование цели работы. Для анализа последствий необходимо иметь модели для расчета [1–3]: выбросов вредных веществ; нарушений герметичности резервуара давления; утечки из трубопровода; выбросов со взрывом и без взрыва; испарения с поверхности жидкости и т.п.; рассеяния вредных веществ; загрязнения воздуха на малых и больших расстояниях; загрязнения воды; загрязнения почвы и продовольствия; теплового излучения; взрывов; выпадения примесей; химических реакций; долгосрочной и кратковременной токсичности (для факторов с пороговым и беспороговым действием, учет аддитивности, синергизма, фармакокинетики); ущерба для здоровья населения и другие. Основные характеристики токсических свойств отравляющих химических веществ (ОХВ) – предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м³, смертельная концентрация вещества в данной среде (воздухе, воде, продуктах), а также токсодоза (пороговая, поражающая, смертельная).

Утвержденная в Украине методика [4] позволяет определить только границы зоны порогового поражения и основана на эмпирических и малообоснованных соотношениях, существенно завышающих реальные последствия аварий. Цель настоящей публикации – обосновать методику, позволяющую производить количественные оценки риска, в частности, индивидуального, территориального и социального рисков.

Изложение основного материала. Одна и та же мера воздействия (количество поглощенного токсиканта, доза радиации, количество теплоты, избыточное давление ударной волны и т.п.) может вызвать последствия различной тяжести у разных людей, т.е.

эффект поражения носит вероятностный характер. Такой подход к определению поражающего действия негативных факторов носит название вероятностного. Величина вероятности поражения (эффект поражения) $P_{пор}$ (измеряется в долях единицы или процентах) выражается функцией Гаусса (функцией ошибок), записываемой как

$$P_{пор} = f(P_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r-5} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (1)$$

Верхним пределом интеграла является так называемая пробит-функция P_r , отражающая связь между вероятностью поражения $P_{пор}$ и дозой негативно-го воздействия

$$Pr = a + b \cdot \ln D, \quad (2)$$

где a и b – константы для каждого вещества или процесса, характеризующие специфику и опасность его воздействия, определяемые экспериментально.

Реальные значения коэффициентов формулы (2), относящихся к различным поражающим факторам, систематизированные нами за данными [2,3], приведены в табл. 1.

При выбросе ОХВ [5] значение пробит-функции можно определить по соотношению

$$Pr = a + b \cdot \ln(C^n \cdot \tau), \quad (3)$$

где a и b – усредненные коэффициенты уравнения регрессии; τ – продолжительность экспозиции, мин.; n – показатель степени, определяемый экспериментально; C – концентрация токсиканта, ppm (пропромиле).

Концентрация токсиканта C_{ppm} связана с концентрацией C (мг/м³) следующим соотношением

$$C_{ppm} = \frac{C \cdot R \cdot 10^3 \cdot (273,15 + t)}{P_0 \cdot M}$$

или

$$C_{ppm} = \frac{C \cdot (273,15 + t)}{12,187 \cdot M}, \quad (4)$$

где t – температура смеси, °C; M – молекулярная масса токсиканта; R – универсальная газовая постоянная; P_0 – атмосферное давление, Па.

Например, при оценке масштаба поражения хлором значения коэффициентов $a = -8,29$, $b = 0,92$, $n = 2$ справедливы для взрослых и подростков, а для детей и людей преклонного возраста пробит-функция имеет вид

$$Pr = -6,61 + 0,92 \ln(C_{ppm}^2 \cdot \tau). \quad (5)$$

Параметры пробит-функций для поражающих факторов

Фактор и его последствия	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	Примечание
1. Разрушение промышленных зданий от воздействия ударной волны Полное	5	-0,22	$(40000 / \Delta P)^{7,4} + (460 / I^+)^{11,3}$	ΔP – перепад, Па; I^+ – импульс давления, Па · с P_0 – атмосферное давление, Па; m – масса тела человека, кг
Среднее (трудно реставрируемое)	5	-0,26	$(17500 / \Delta P_\phi)^{8,4} + (290 / I^+)^{9,3}$	
Гибель людей: от разрыва легких	5	-5,74	$\left\{ \frac{4,2}{1 + \Delta P / P_0} + \frac{1,3}{I^+ / (P_0^{1/2} \cdot m^{1/3})} \right\}$	
вероятность отброса людей волной давления (летальный исход)	5	-2,44	$\left[\frac{7380}{\Delta P} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{\Delta P \cdot I^+} \right]$	
разрыв барабанных перепонок	-12,6	1,52	ΔP	
2. Осколочный: режущие осколки массой до 0,1кг; ударные осколки массой до 0,1кг; осколки массой от 0,1 до 4,2кг и более	-29,6 -17,6 -13,2	2,1 5,3 10,5	$mU^{5,12}$ $0,5mU^2$ U	m – масса осколка, кг; U – скорость осколка, м/с; (для стекла $U \cong 20$ м/с)
3. Тепловой: ожоги 1-й степени лжогі 2-й степени Гибель людей без защитной одежды Гибель людей в защитной одежде	-39,8 -43,1 -36,4 -37,2	3,02 3,02 2,56 2,56	$q^{4/3} \cdot \tau$ $q^{4/3} \cdot \tau$ $q^{4/3} \cdot \tau$ $q^{4/3} \cdot \tau$	τ – время, с; q – мощность потока, Вт/м ²
4. Токсический: аммиак хлор соляная кислота сероводород угарный газ диоксид азота диоксид серы бензол	-35,9 -8,29 -16,85 31,423798 -13,79 -15,67 109,78	1,85 0,92 2,0 3,008 3,7 1,4 2,1 5,3	$C_{ppm}^n \cdot \tau$ $n=2$ $n=2$ $n=1$ $n=1,43$ $n=1$ $n=2$ $n=1$ $n=2$	n – показатель степени, определяемый экспериментально; τ – время воздействия, мин.; C_{ppm}^n – концентрация токсиканта

Общепринятой „шкалой“ для количественного измерения опасностей является „шкала“, в которой в качестве измерения используются единицы риска.

Это связано с тем, что риск как количественную характеристику реализации опасностей можно использовать для оценки состояния условий труда, экономического ущерба, определяемого несчастными случаями и заболеваниями на производстве, формирования системы социальной политики на производстве (обеспечение компенсаций, льгот).

В общем случае, риск выражается в виде произведения частоты реализации нежелательного события на масштаб определенного вида последствий. Под ущербом может пониматься не только прямой ущерб от разрушенного промышленного объекта, но и количество потенциальных смертельных случаев среди людей в результате возникновения либо аварийных ситуаций, либо природных катастрофических явлений.

Одной из наиболее часто употребляемых характеристик опасности является *индивидуальный риск* – частота поражения отдельного индивидуума (челове-

ка) в результате воздействия исследуемых факторов опасности. В общем случае, количественно (численно) индивидуальный риск выражается отношением числа пострадавших людей к общему числу рискующих за определенный период времени.

В условиях производства для определения уровня индивидуального риска следует учитывать природу аварии, долю времени нахождения в „зоне риска“ и местонахождение „рискующего“. В этой связи индивидуальный риск рассчитывается по формуле

$$R_{инд} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot Q_{ni} \cdot P_{np}, \quad (6)$$

где $R_{инд}$ – индивидуальный риск, 1/год; Q_i – частота реализации i -го сценария в течение года, 1/год; Q_{ni} – условная вероятность поражения человека при реализации i -го сценария аварии; P_{np} – вероятность присутствия человека в зоне действия поражающих факторов i -го сценария аварии; n – число сценариев аварии.

Условная вероятность поражения от негативного воздействия на человека (избыточное давление, развиваемое при сгорании паровоздушных смесей на определенном расстоянии от эпицентра, тепловое излучение при пожаре пролива, токсическое воздействие и т.п.) рассчитывается с использованием „пробит-функции“ (2). Индивидуальный риск рассчитывается для различных категорий персонала, при этом учитывается время пребывания персонала конкретной специальности (аппаратчики, слесари, ИТР – начальник цеха, мастер смены, технолог и др.) в зоне поражающих факторов конкретной аварии, при этом используются данные карт занятости персонала на рабочих местах. При расчете распределения риска по территории вокруг объекта (картировании риска), индивидуальный риск определяется потенциальным территориальным риском и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов.

Вероятность присутствия персонала в зоне действия поражающих факторов возможной аварии определяется по формуле

$$P_{np} = \frac{\tau_i \cdot n_i}{T}, \quad (7)$$

где τ_i – время нахождения работающего в пределах зон поражающих факторов в одну смену, ч; T , n_i – количество часов и рабочих смен в году.

Для работника предприятия с 8-часовым рабочим днем, для большинства сценариев, величину P_{np} можно взять равной 0,3 (независимо от числа смен на производстве). При $P_{np}=1$ получаем величину потенциального территориального риска – максимального значения индивидуального риска поражения человека $R_{ном}$.

Коллективный риск – ожидаемое количество пораженных (травмированных или погибших) двух и более человек в результате возможных аварий за определенный период времени. Коллективный риск рассчитывается по формуле

$$R_{кол} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot N_i, \quad (8)$$

где $R_{кол}$ – коллективный риск, чел/год; Q_i – вероятность реализации i -того сценария аварии в течение года; N_i – количество погибших при реализации i -того сценария аварии.

Средний индивидуальный риск рассчитывается по формуле

$$R_{cp} = \frac{R_{кол}}{N_i},$$

где R_{cp} – средний индивидуальный риск, 1/год; N_i – персонал, подвергающийся риску, чел.

Социальный риск – зависимость частоты возникновения событий F , в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого определенного числа моделей

Например, социальный риск для аварии с пожарами и взрывами на наружной технологической установке S (1/год) определяется по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n Q(A_i), \quad (9)$$

где n – число сценариев, для которых выполняется условие $N_i \geq N_0$; N_i – количество летальных исходов в результате реализации i -го сценария (события); N_0 – число летальных исходов, для которого оценивают величину социального риска.

Количество летальных исходов в результате реализации i -го сценария можно оценить по следующей формуле

$$N_i = \sum_{j=1}^m Q_{ij} \cdot n_j, \quad (10)$$

где m – число рассматриваемых зон поражения; n_j – среднее число людей, находящихся в j -ой зоне.

Если статистические данные, необходимые для расчета частот тех или иных событий, отсутствуют, величины этих частот для различных сценариев аварии можно оценить по формуле

$$Q(A_i) = Q_{AB} \cdot Q(A_i)_{cm},$$

где Q_{AB} – вероятность возникновения аварии; $Q(A_i)_{cm}$ – статистическая вероятность развития аварии по i -й ветви дерева событий.

Показателем риска, характеризующим пространственное распределение опасности по объекту и близлежащей территории, является потенциальный территориальный риск – частота реализации поражающих факторов в рассматриваемой точке территории. Потенциальный территориальный, или потенциальный, риск не зависит от факта нахождения объекта воздействия (например, человека) в данном месте

пространства. В этом случае предполагается, что условия вероятности нахождения объекта (человека) воздействия равны 1 (т.е. человек находится в данной точке пространства в течение всего рассматриваемого промежутка времени). Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте и может меняться в широком интервале. При известном распределении населения в исследуемом районе, величина индивидуального риска позволяет получить количественную оценку социального риска для населения.

Для этого нужно рассчитать количество пораженных людей при каждом сценарии для каждого источника опасности и затем определить частоту событий F , при которой может пострадать на том или ином уровне N и более человек. Социальный риск характеризуется масштаб и вероятность (частоту) аварий, определяется функцией распределения потерь (ущерба), у которой есть установившееся название – F/N - кривая.

Анализ социального риска проводится в следующей последовательности: определяются расчетным путем значения частот реализации всех сценариев аварий на объекте; определяется, для каких сценариев развития аварий число пострадавших составляет определенное количество, например 30; 20; 10; ...; ... человек; определяется сумма частот реализации сценариев развития аварии, при которых число пострадавших составляет 30; 20; 10; ...; ... человек; определяется частота реализации аварий, при которой пострадали не менее N человек; строится диаграмма F/N .

Для расчета величины индивидуального, территориального и социального рисков необходимо: определить вероятности возникновения инициирующих событий для возможных основных сценариев аварии; построить логические деревья событий при возникновении основных инициирующих аварийных ситуаций; определить статистические вероятности перехода аварии на различные ветви деревьев событий; определить условные вероятности поражения при реализации различных ветвей дерева событий. Вероятности разгерметизации оборудования и вероятности перехода аварии на различные ветви дерева события можно определить по статистическим данным или в результате экспертной оценки, условные вероятности поражения человека – по значениям пробит-функции.

На рис. 3–6 показаны зависимости территориального, индивидуального и социального рисков при разгерметизации трубопровода (выброс 1т. жидкого хлора). Вероятность разгерметизации трубопровода рассчитывалась по дереву отказов, представленному на рис. 2.

Расчеты производились в среде Mathcad по формулам (1)–(10). Концентрация хлора, входящая в соотношение (4), рассчитывалась по методике „Токси - 2.2“ [1].

Представленные на рис. 4–5 зависимости территориального и индивидуального риска при различном времени экспозиции, вычисляемые с учетом вероятности поражения (рис. 3), позволяют осуществлять раз-

работку научно обоснованных рекомендаций по уменьшению риска, являющегося заключительным этапом анализа риска. Так, для нашего примера, если величина территориального и индивидуального риска для исследуемого объекта превышает установленные нормативные значения, то возможными рекомендациями по уменьшению риска могут быть: повышение надежности запорной арматуры; установка на трубопроводе отсекающих клапанов, уменьшающих массу аварийного выброса хлора; сокращение числа персонала, одновременно находящегося в опасной зоне; принятие мер по уменьшению времени эвакуации персонала из опасной зоны; применение индивидуальных средств защиты работающих и др. Для любого из возможных вариантов решений по предложенной методике может быть определена вероятность поражения, а также значение территориального, индивидуального и социального риска. Окончательный выбор варианта решения осуществляется с учетом величины затрат на его осуществление.

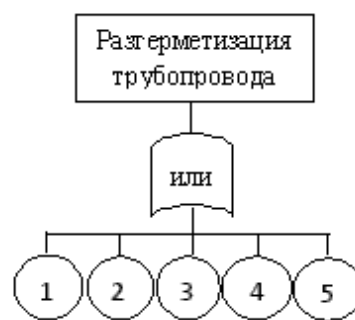


Рис. 2. „Дерево отказов“, приводящих к разгерметизации трубопроводов: 1 – отказ запорной арматуры; 2 – отказ сварных швов; 3 – отказ прокладок фланцевых соединений; 4 – отказ болтовых соединений фланцев; 5 – коррозионный или усталостный отказ

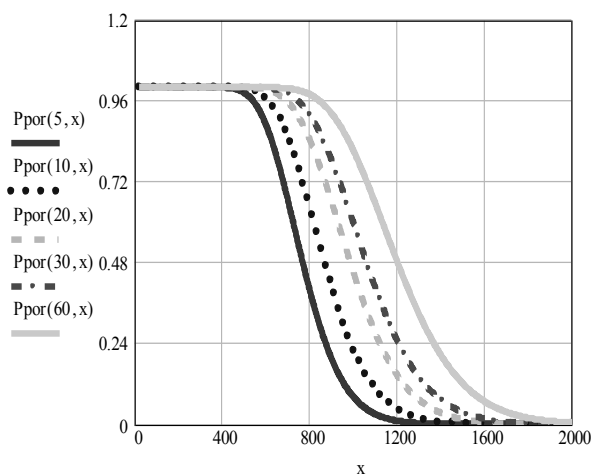


Рис. 3. Зависимости условной вероятности поражения P_{por} от расстояния x при поражении хлором для различной продолжительности времени экспозиции

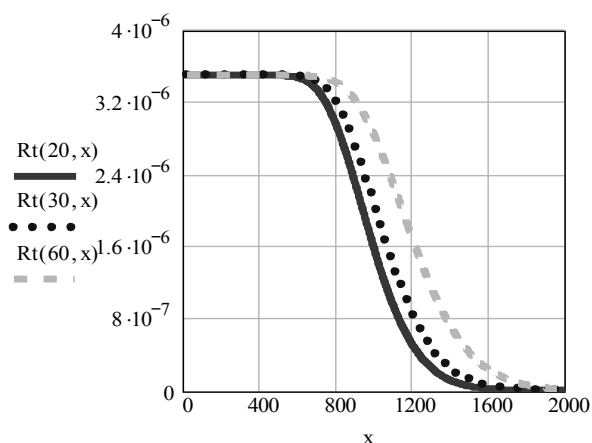


Рис. 4. Зависимость территориального риска R_t от расстояния x при поражении хлором

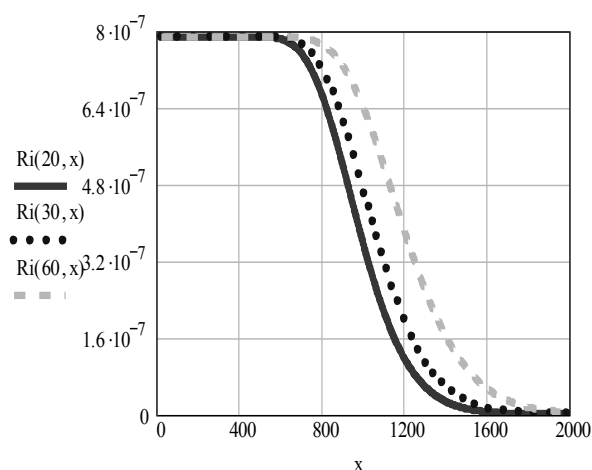


Рис. 5. Зависимости индивидуального риска R_i от расстояния x при поражении хлором

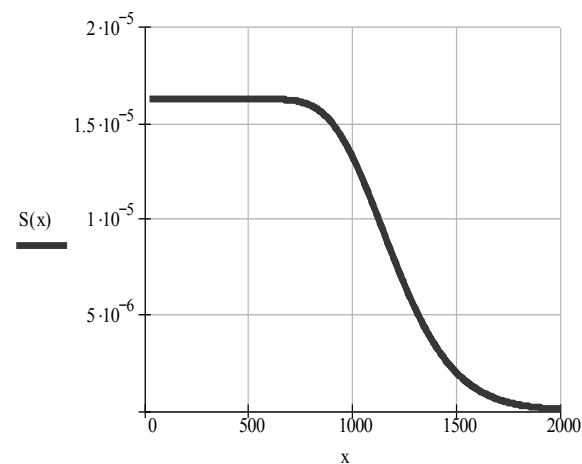


Рис. 6. Зависимость социального риска $S(x)$ от расстояния x при поражении хлором

Выводы. Предложенная методика позволяет производить количественные оценки риска, в частности, индивидуального, территориального и социального рисков при выбросе отравляющих веществ. Результаты анализа риска используются при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов, экспертизе промышленной безопасности и разработке рекомендаций по уменьшению риска.

В то же время необходимо отметить, что общепринятых значений уровня риска в мире пока нет. Разброс пороговых значений степени риска объясняется различным отношением к риску (добровольный или принудительный), уровнем развития промышленной безопасности в стране, а также различиями в методологии анализа риска.

Приемлемый риск – это такой уровень смертности, травматизма или инвалидности людей, который не влияет на экономические показатели предприятия, отрасли экономики или государства. В общем случае под приемлемым риском понимается риск, уровень которого допустим и обоснован, исходя из экономических и социальных соображений.

Стратегия управления риском не является однозначной и во многом зависит от общего состояния, приоритетов и тенденций развития экономики страны, от существующей законодательной и нормативной базы, отлаженности механизмов экономического и правового управления безопасностью и охраны окружающей среды в промышленности и ряда других факторов.

Проблема управления риском, безопасности населения и территорий состоит в поиске и реализации оптимальной (рациональной) системы мер, снижающих показатели риска. Поскольку показатели риска оцениваются количественно, возникает естественный вопрос – что считать приемлемым риском? Вопрос об уровне приемлемого риска является наиболее важным в принятии решений.

Следует подчеркнуть, что выбор значения приемлемого уровня индивидуального риска во многом зависит от экономического состояния страны. Во всех промышленно развитых странах уже существует понимание необходимости более полного применение такого подхода (концепции „приемлемого риска“) как одного из наиболее эффективных механизмов управления промышленной безопасностью.

Список литературы / References

1. Методики оценки последствий химических аварий на опасных производственных объектах. Методика „Токси-2.2.“ Сборник документов. Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: НТЦ по безопасности в промышленности и Госгортехнадзора России, 2002. – 206 с.

Methods of Estimation of Consequences of Chemical Accidents at Dangerous Production Objects. The method of Toksi-2.2, (2002), Collection of Documents, Moscow, STC on the Safety of Industry and State Technical Inspection of Russia, 206 p.

2. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / Белов П.Г. – М.: АСАДЕМА, 2003. – 505 с.

Belov, P.G. (2003), *Sistemny analiz i modelirovanie opasnykh protsessov v tekhnosfere* [System Analysis and Modeling of Dangerous Processes in the Technical Sphere], АСАДЕМА, Moscow, Russia.

3. Управление техногенной безопасностью объектов повышенной опасности / [Стоецкий В.Ф., Дранишников Л.В., Есипенко А.Д. и др.] – Тернополь: «Изд-во Астон», 2006. – 424 с.

Stoetskii, V.F., Dranishnikov, L.V., Yesipenko, A.D., Zhartovskiy, V.M. and Nayvert, A.V. (2006), *Upravlenie tekhnogennoy bezopasnostyu obyektov povyshennoy opasnosti* [Management of Technology-Related Safety of Objects of Increased Risk], Ternopol, Aston, Ukraine.

4. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. Затверджено спільним наказом МНС, Мінагрополітики, Мінекономіки, Мінекології України від 27.03.2001 № 73/82/64/122. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua>.

Method of Forecasting of Consequences of Outpouring (Outburst) of Hazardous Chemical Substances from Chemical Accidents at Industrial Objects and Transport. Ratified by the General Order of the Emergency Control Ministry, Ministry of Agriculture, Ministry of Economics, Ministry of Ecology of Ukraine from 27.03.2001 no.73/82/64/122. [Electronic resource]. - Access Mode: <http://www.mns.gov.ua>.

5. Матрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Матрюков Б.С. – М.: Изд. центр „Академия“, 2003. – 336 с.

Mastryukov, B.S. (2003), *Bezopasnost v chrezvychnykh situatsiyakh* [Safety in Emergency Situations], Publ. center “Academia”, Moscow, Russia.

Мета. Розробка методики розрахунку для аналізу та оцінки ризику аварій техногенного характеру на небезпечних виробничих об'єктах, зокрема, при викиді токсичних речовин.

Методика. При аналізі й оцінці ризику виникнення аварій був застосований імовірнісний метод аналізу безпеки з використанням „дерева відмов“.

Результати. Розглянуті різні методологічні підходи до оцінки ризику. Показано, що методики прогнозування, які використовуються нині в Україні, дозволяють визначити тільки межі зони порогового ураження. Запропонована методика, що дозволяє проводити кількісні оцінки ризику, зокрема, індивідуального, територіального та соціального ризиків. Рекомендовано використовувати отримані оцінки при декларуванні промислової безпеки потенційно небезпечних виробничих об'єктів, експертизі проми-

слової безпеки та розробці рекомендацій зі зменшення ризиків.

Наукова новизна. Полягає в науковому обґрунтуванні методики розрахунку для аналізу та оцінки ризиків аварій техногенного характеру на небезпечних виробничих об'єктах, що відрізняється від відомих тим, що при визначенні індивідуального ризику враховується природа аварії, час знаходження працюючих у небезпечній зоні та їх місцезнаходження, що дозволяє з більшою достовірністю проводити аналіз і оцінку індивідуального, територіального й соціального ризику при викиді отруйливих речовин.

Практична значимість. Результати аналізу й оцінки ризику аварій використовуються при обґрунтуванні технічних рішень щодо забезпечення безпеки роботи промислових підприємств.

Ключові слова: безпека, ризик, аналіз, імовірнісні методи дослідження

Purpose. Development of calculation methods for analysis and evaluation of risk of technology-related accidents at hazardous production facilities.

Methodology. For the analysis and evaluation of the risk of accidents the stochastic method of safety analysis using the failure tree was used.

Findings. Different methodological approaches to risk assessment were considered. The research showed that the forecasting techniques currently used in Ukraine can determine only the boundary zone of the threshold of defeat. We suggest the technique that allows for quantitative risk assessment, in particular, individual, territorial and social risks. We recommend using the estimates obtained for the declaration of industrial safety of hazardous production facilities of industrial safety and the development of recommendations for risk reduction.

Originality. The article provides scientific rationale of the calculation methods for the analysis and evaluation of the risk of technology-related accidents at hazardous production facilities. It differs from the previous ones by taking into account the nature of the accident during the determination of individual risk, determining the time of workers' stay in a hazardous area and their location. This allows us to analyze and evaluate the individual, territorial and social risks caused by the release of toxic substances more precisely.

Practical value. Results of the analysis and evaluation of the accidents risk are used for substantiation of technical measures providing industrial safety.

Keywords: security, risk analysis, stochastic research methods

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.С. Колесником. Дата надходження рукопису 14.08.13.