

16. Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска//Проблемы анализа риска. - 2008. Т. 5. № 3. С. 72-85.

17. Reznikov D.O., Analysis of local failure modes and subsequent scenarios of global failures of complex technical systems, Proc. 19th European Conf. on Future. ECF19, Kazan. - 2012.

Сведения об авторах

Махутов Николай Андреевич, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН). E-mail: safety@imash.ru. Тел. +7(495)930-80-78

Резников Дмитрий Олегович, ведущий научный сотрудник, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН). e-mail: imashreznikoff@yandex.ru, тел. +7 (495) 623 58 35

УДК 614.824(082)

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ УЩЕРБОВ

Доктор техн. наук **Р.С. Ахметханов**

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН

Освещены особенности оценки ущерба на КВО при возникновении аварий и техногенных катастроф; рассматриваются все основные аспекты анализа и оценки ущербов - основные соотношения теории риска, опасные и негативные факторы, законы поражения зданий и человека, как основные объекты воздействия опасных и негативных факторов, которые возможны при реализации различных чрезвычайной ситуации, вызванных несанкционированными воздействиями, природными опасными явлениями, исчерпанием ресурса технических систем или ошибками персонала.

Ключевые слова: риски, вероятность, ущерб, опасные факторы, законы разрушения, законы поражения, зона поражения, пробит-функция.

FEATURES OF DAMAGES ASSESSMENT AT RISK ASSESSMENT

Dr. (Tech.) **R.S. Akhmenkhanov**

IMASH RAS

The article is devoted to the peculiarities of damage assessment at the CER in the event of accidents and man-made disasters - all the main aspects of analysis and assessment are considered: the basic ratios of risk theory, dangerous and negative factors, laws of destruction of

buildings and humans, as objects of exposure to dangerous and negative factors that are possible during implementation various emergency situations caused by unauthorized impacts, natural hazards, exhaustion of technical systems or personnel errors.

Keywords: incident, risks, probability, damage, hazards, laws of destruction, laws of defeat, zone of destruction, probit-function.

1. Определяющие отношения и параметры рисков

Основы математического аппарата, применяемого при оценке риска каких-либо негативных событий на критически важных объектах (КВО) как и на других технических объектах, сводятся к следующим положениям и определениям:

A - авария на КВО (например, нерасчетное внезапное высвобождение энергии или вещества);

U_i - величина ущерба КВО и другим объектам, населению и окружающей среде.

Полный риск R эксплуатации КВО, как математическое ожидание причиняемых ущербов U , следует представить следующим образом[1-5]:

$$R = \sum_{i=1}^n P(A_i)U_i, \quad (i=1, \dots, n), \quad (1)$$

где $P(A_i)$ — вероятность причинения ущерба КВО и другим объектам, населению и окружающей среде при i -ом аварийном сценарии A_i , n – число возможных исходов аварийной ситуации.

Вероятность $P(A_i)$ возникновения анализируемого неблагоприятного события в общем случае определяется как функционал, зависящий от соответствующих поражающих факторов и объектов поражения – человек N , объектов техно-сферы T и окружающей среды S

$$P = F_p \{P_N(t), P_T(t), P_S(t)\} = \sum_i F_{P_i} (P_{N_i}(t), P_{T_i}(t), P_{S_i}(t)). \quad (2)$$

$P_N(t), P_T(t), P_S(t)$ - вероятности возникновения в момент времени t неблагоприятных (опасных) событий, обусловленных различными факторами (человеческий, технический и природный).

Общий ущерб U или его составляющие U_i определяются ущербами, наносимыми населению N , объектам техно-сферы T и окружающей среде S .

$$U = F_U \{U_N(t), U_T(t), U_S(t)\} = \sum_i F_{U_i} (U_{N_i}(t), U_{T_i}(t), U_{S_i}(t)). \quad (3)$$

$U_N(t), U_T(t), U_S(t)$ - ущербы, наносимые неблагоприятными (опасными) событиями в момент времени t человеку, техно-сфере и природной среде.

С учетом выражений (2) и (3) составляющие ущербов и вероятностей аварий могут быть вычислены раздельно с использованием различных методов оценки рисков.

Ущерб количественно определяются двумя типами параметров:

- натуральными единицами - шкалами (число поврежденных объектов и пострадавших людей, площадь загрязненных и поврежденных территорий);
- эквивалентными экономическими единицами (рубли).

2. Анализ и типизация опасных факторов

Независимо от источника возникновения все техногенные аварии и катастрофы имеют практически одни и те же факторы негативного воздействия на человека, промышленные объекты и среду его обитания. Это барическое воздействие ударной волны при взрыве газо-воздушных смесей, взрывчатых веществ, технологических установок и т.п.; термическое воздействие при пожарах зданий и сооружений, пожаров разлития, лесных пожарах и т.п.; токсическое воздействие химического оружия, выбросов опасных химических веществ (ОХВ), шлейфа пожара и т.п.; радиоактивное воздействие при радиационной аварии; механическое воздействие при поражении осколками, при обрушении зданий и сооружений и т.п.

Техногенные катастрофы, как правило, отличаются пространственно-временным распределением тех или иных физико-химических, биологических, теплофизических и других параметров:

- при барическом воздействии - избыточные давления на фронте ударной волны и импульс фазы сжатия;

- при термическом воздействии - поле плотностей тепловых потоков излучения;

- при токсическом воздействии - поле концентраций (токсидоз) токсиканта.

При моделировании сценариев техногенных катастроф принято учитывать следующие *поражающие факторы*: радиационное излучение, отравление и заражение химически опасными веществами, бактериологическое заражение, взрывные волны и ударные воздействия, тепловое излучение, тепловые нагрузки, механические воздействия и нагрузки, импульсные ускорения, электромагнитные нагрузки, нагрузки от летящих и движущихся осколков и частей объектов.

Для количественной оценки указанных поражающих факторов, как правило, необходимо выделять следующие *базовые типы поражающих факторов КВО и их параметры* [6-9]:

- интегральный поток радиационного излучения;

- плотность потока по времени;

- энергетическая характеристика спектра потока;

- масса выброшенных химически опасных (отравляющих) веществ;

- концентрация отравляющих веществ;

- скорость распространения отравляющих веществ;

- масса выброшенных биологически опасных веществ;

- концентрация биологически опасных веществ;

- скорость распространения биологически опасных веществ;

- максимальное удельное давление волны;

- скорость изменения давления во фронте волны;

- число повторных воздействий волны;

- максимальные температуры; скорость изменения температур;

- градиенты температур в объекте;

- тепловые нагрузки, число циклов теплового нагружения;

- время действия тепловых нагрузок;

- максимальные механические нагрузки;

- скорость изменения механических нагрузок;

- время действия механических нагрузок;

- максимальные ускорения при импульсных смещениях;

- повторность импульсных ускорений;

- максимальные электромагнитные нагрузки;

- скорости изменения нагрузок;

- повторность нагружения, масса и скорость летящих осколков.

Накопленная статистика о техногенных катастрофах и анализ основных причин гибели людей и разрушения производственных помещений и жилых комплексов позволяет сделать определённые выводы об основных поражающих факторах, сопровождающих промышленные аварии и природные катастрофы, обусловленные физическими и химическими процессами, происходящими с веществами и соединениями. Основными причинами гибели персонала КВО и людей на территории, прилегающей к нему, являются:

- разрушение зданий и сооружений;
- различные формы пожара (преимущественный фактор поражения - тепловое);
- разлетающиеся осколки и фрагменты оборудования (осколочное поражение);
- падение, столкновение или удар биообъектов с неподвижными элементами конструкций;
- отравление (удушение) газообразными продуктами выброса либо исходных соединений, либо соединений, образовавшихся при химическом превращении в процессе аварии (токсическое поражение);
- прямое поражение ударными или взрывными волнами давления (фугасное поражение).

3. Анализ особенностей техногенных катастроф

В основе методологического подхода к определению ущербов от аварий на КВО лежит определение зон (полей) поражения. Для каждого конкретного объекта параметры зоны определяются посредством моделирования или экспериментальных исследований.

В зависимости от конечных целей построения зон поражения различают зоны (поля) ущерба, потенциальной опасности и риска.

Зоной ущерба называют площадь, ограниченную линией, в каждой точке которой с вероятностью равной единице, имеет место поражение с заданной степенью поражения или разрушения (пороговое поражение, летальное поражение, средняя степень разрушения и т.п.) при возникновении аварии определенного типа [10,11].

После выбора или расчета характерных n - мерных полей физических параметров (концентраций, температур, давления, потоков энергии и т.п.) опасных факторов аварий и катастроф можно определить размеры зон негативного воздействия, т.е. перевести физические параметры или их интегральные значения в последствия с использованием граничных критериев воздействия. Построение таких зон целесообразно проводить на картографической основе (например, на генплане предприятия, района, города), что позволит оконтурить зоны, в пределах которых будет иметь место та или иная степень поражения, вплоть до летального исхода. Величина и геометрия площади потенциального поражения, определяемая в первую очередь законами поражения, могут не только служить показателем опасности того или иного сценария развития аварии, но и быть основанием для разработки плана уменьшения степени поражения и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации.

В изотропной атмосфере зона ущерба от термического, барического или радиационного (ионизирующих излучений) поражения может быть в первом приближении представлена в виде сферы с радиусом, зависящим от степени поражения и условий протекания аварии.

Форма и площадь зоны ущерба зависят от метео-климатических условий (скорости и направления ветра, класса устойчивости атмосферы, времени года и суток и т.п.), состояния подстилающей поверхности и т.д.

В не изотропной атмосфере при оценке масштаба и геометрии зон ущерба аварий, сопровождающихся выбросом токсических, взрывоопасных или радиоактивных веществ необходимо учитывать процессы дрейфа облака под действием ветра, разности плотно-

стей, температур и т.д. На рис. 1 представлено пространственно-временное распределение концентраций токсиканта при выбросе газа с постоянной интенсивностью в течение определенного интервала времени t . На рис. 1а схематически показаны сечения 1, 2 и 3 дрейфующего облака газа с убывающими вдоль оси X (по направлению ветра) концентрациями токсиканта. В сечениях 2 и 3 выбраны осевые точки А и Б, для которых на рис. 1б показан рост концентрации токсиканта за время t , в течение которого дрейфующее облако воздействует на субъекты (время экспозиции), условно помещенные в эти точки.

На рис. 1в представлено изменение концентрации токсиканта в сечениях 1, 2 и 3 облака, соответственно.

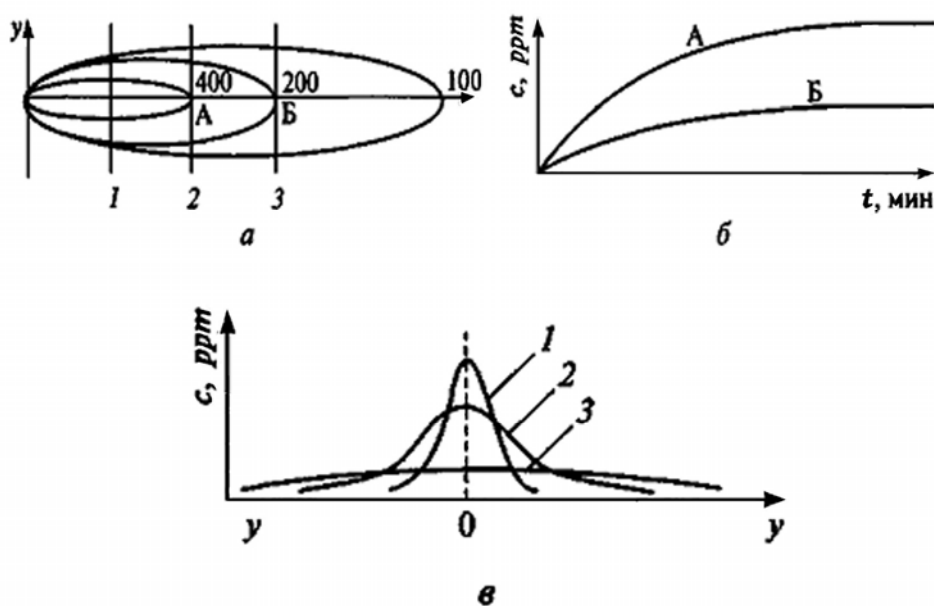


Рис. 1. Пространственно-временное распределение концентрации токсиканта C (ppm) в шлейфе выброса ОХВ: а - изолинии концентраций по ширине шлейфа; б - изменение во времени концентрации C токсиканта в точках А и Б; в — профили концентраций C по ширине шлейфа [10]

Для сценариев аварий, форма и площадь зоны ущерба от которых зависит от параметров окружающей среды, необходимо учитывать весь спектр ее возможных состояний в пределах характерного периода их изменений (обычно в разрезе года).

Метеорологическая информация, как правило, состоит из данных по частоте повторяемости (P_v , %) скоростей ветра (U , м/с) по географическим направлениям (по М - румбовой схеме) в годовом разрезе.

Таким образом, в случае влияния состояния окружающей среды на механизм формирования последствий для каждого сценария исходного выброса с мощностью или массой Q_A для построения поля потенциальной опасности необходимо анализировать $6 \times L$ вариантов зон ущерба с учетом их относительной вероятности реализации по различным направлениям сторон света (рис. 2).

Представление опасности в виде полей учитывает не только сценарий и специфику развития аварийных процессов, но и влияние всей совокупности природно-климатических объектов региона. Применительно к анализу конкретных технологических объектов такие поля являются необходимыми первичными элементами, из которых определяется поле ущерба (риска) для территории и сценарий развития техногенной катастрофы.

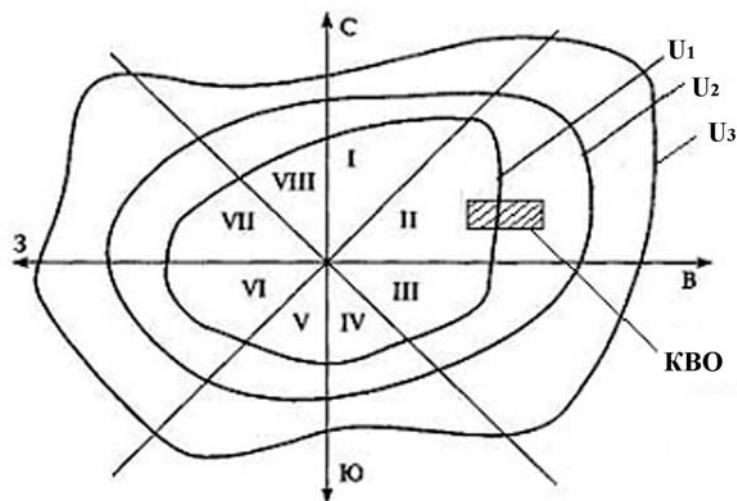


Рис. 2. Изолинии риска на территории региона с источником опасности в центре координат: I-VIII - географические направления; 1-3 линии уровня риска с соответствующими значениями ущербов U_i

Если анализу подвергается не один объект, а система технологических объектов, распределенных по территории, то проводится суммирование полей потенциальной опасности для каждого источника с учетом их взаимного расположения и определяется общий ущерб.

В силу независимости построения полей потенциальной опасности для каждого объекта можно получить оценку влияния аварий на одном объекте на окружающие его объекты. Это особенно важно для сценариев с взрывами и пожарами, поскольку для этих случаев весьма вероятно каскадное развитие аварий (принцип «домино»).

4. Модели воздействий, законы разрушения сооружений и поражения людей

Воздействия опасных факторов описываются в виде аналитических, табличных или графических зависимостей. Эти зависимости позволяют определить интенсивность поражающих факторов той или иной чрезвычайной ситуации в рассматриваемой точке территории.

Используемые расчетные случаи можно свести к следующим типам моделей воздействия:

1. Модели, полученной на основе анализа свершившихся ЧС. Характерными параметрами этой модели являются координаты центра очага, интенсивность или мощность воздействия, время.

2. Функции $F(x, y, \Phi)$, называемой функцией распределения случайной величины Φ , характерной для рассматриваемой чрезвычайной ситуации.

3. Функции $f(x, y, \Phi)$, называемой плотностью распределения или плотностью вероятности случайной величины Φ .

4. Или же воздействие может характеризоваться статистическими данными.

Интенсивность воздействия и частота события могут быть заданы на основании статистических данных или определены численным имитационным моделированием.

Законы разрушения сооружений и поражения людей

Без учета законов разрушения и поражения людей невозможно оценить возможные ущербы, возникающие при авариях и катастрофах. Эти законы могут быть представлены в графическом виде, в виде пробит-функций и дифференциальных и интегральных выражений [12-19].

Законы разрушения сооружений

Под законами разрушения сооружения понимают зависимость между вероятностью его повреждения и интенсивностью проявления поражающего фактора.

Законы разрушения сооружений получают на основе анализа и обобщения статистических данных по их разрушению. Используются законы разрушения двух типов - вероятности наступления не менее определенной степени разрушения (повреждения) сооружения $P_{Ai}(\Phi)$ и вероятности наступления определенной степени разрушения (повреждения) сооружений $P_{Bi}(\Phi)$ (рис. 3а и 3б). Для построения кривой, аппроксимирующей вероятности наступления не менее определенной степени разрушения (повреждения) сооружений, могут использоваться различные законы распределения случайной величины. При этом учитывается, что для одного и того же сооружения может рассматриваться не одна, а несколько степеней разрушения.

В случае использования нормального распределения вычисление значений вероятностей $P_{Ai}(\Phi)$ производятся по следующей формуле

$$P_{Ai} = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \int_0^{\Phi} e^{-\frac{(\bar{\Phi}-M_i)^2}{2\sigma_i^2}} d\bar{\Phi},$$

где Φ - заданное значение случайной величины; $\bar{\Phi}$ - переменная интегрирования случайной величины; $\pi=3,14$; M_i , σ_i , - математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайной величины для i - й степени разрушения сооружений, определяемые на основании статистической обработки результатов экспериментов и натуральных данных или расчетным путем.

При определении вероятности наступления определенной степени разрушения (повреждения) сооружений учитывают теорему о полной группе событий

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

где m - число рассматриваемых событий.

Законы поражения людей

Под законом поражения людей будем понимать зависимость вероятности поражения людей от интенсивности поражающего фактора.

Параметрические законы поражения людей, размещенных в зданиях, получены на основании теоремы полной вероятности. В расчетах учитывается, что событие C_j (общие, безвозвратные, санитарные потери) может произойти при получении сооружением одной из степеней повреждения (при одной из гипотез B_i), образующих полную группу несовместных событий. Расчеты проводятся по формуле

$$P(\Phi) = \sum_{i=1}^n P_{Bi}(\Phi) \cdot P(C_j|B_i),$$

где $P(\Phi)$ - вероятность поражения людей от воздействия поражающего фактора Φ ; $P_{Bi}(\Phi)$ - вероятность наступления i -й степени повреждения сооружения при заданном значении поражающего фактора (закон разрушения);

$P(C_j|B_i)$ - вероятность получения людьми j -й степени поражения при условии, что наступила i - ая степень повреждения здания; n - рассматриваемое число степеней повреждения здания.

Значения $P(C_j|B_i)$ получают на основе обработки материалов последствий аварий и стихийных бедствий.

На рис. 3, в качестве примера, приведен общий вид законов поражения населения. При оценке ущерба, как правило, используются законы поражения, полученные для людей, размещенных в защитных сооружениях, зданиях и на открытой местности.

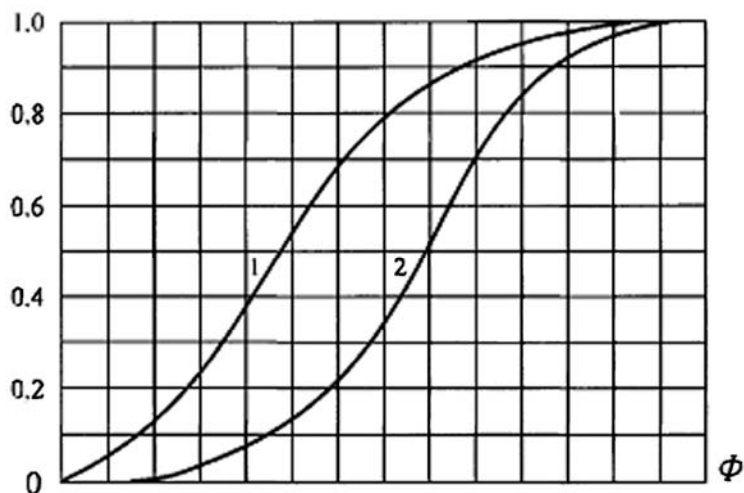


Рис. 3. Общий вид законов поражения населения:
1 - общие потери; 2 - безвозвратные потери

Негативные воздействия на человека и объекты

В настоящее время исследованы, и установлены некоторые фиксированные уровни (значения) негативных факторов, соответствующие той или иной степени поражения человека, зданий и сооружений, окружающей природной среды (ОПС). Например, при избыточном давлении во фронте ударной волны, равном 70 кПа, возможны контузии людей, полное разрушение зданий, средняя степень разрушения линий электропередач, сильная степень разрушения наземных резервуаров и т.д. В случае термического воздействия пожара разлития или при образовании огненного шара с плотностью теплового потока 37 кВт/м^2 произойдет разрушение расположенных рядом емкостей, а при длительности экспозиции 30 с получат смертельное поражение 90% подвергшихся облучению людей. Такой подход к определению поражающего действия негативных факторов (эффекта поражения) можно назвать *детерминированным*.

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*. Величина вероятности поражения (эффект поражения) $P_{\text{пор}}$ (измеряется в долях единицы или процентах) выражается, как правило, функцией Гаусса (функцией ошибок), записываемой в виде

$$P_{\text{пор}} = f(Pr) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} \exp(-t^2 / 2) dt \quad (4)$$

Для удобства представления в табличной форме решения уравнения (4) часто используют несколько иную форму этого уравнения:

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

Значения $P_{пор}$, рассчитанные по формуле (5), представлены в таблице.

Таблица [10]

Зависимость степени поражения (разрушения) $P_{пор}$, %, от пробит-функции

$P_{пор}$, %	Пробит-функция									
	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	3,87	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	5,82
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

Такой подход к определению поражающего действия негативных факторов (эффекта поражения) носит название *вероятностного*.

Верхним пределом интеграла является так называемая пробит-функция Pr , отражающая связь между вероятностью поражения $P_{пор}$ и дозой негативного воздействия D

$$Pr = a + b \ln D,$$

где a и b — константы для каждого вещества или процесса, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия.

Такой подход позволяет получить обобщенные пробит-функции для различных поражающих факторов и использовать таблицу для оценки вероятности поражения персонала, населения и окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер воздействия опасных факторов на технические объекты, персонал, население и окружающую среду определяется количеством, мощностью и распределением в пространстве опасных веществ, энергии и информации на КВО. А уровень наносимого ущерба техническим объектам, персоналу, населению и окружающей среде при техно-

генной катастрофе определяется уровнями этих воздействий и законами поражений сооружений и людей, которые могут быть получены расчетными и экспериментальными методами.

С учетом особенностей оценки возможных ущербов и опасных факторов, имеющих на КВО, могут быть:

- построены области опасных и безопасных состояний объектов, когда их опасные состояния могут осуществляться в соответствии с закономерностями случайных или детерминированных процессов;

- построены обобщенные сценарии и модели объектов КВО на разных стадиях возникновения и развития техногенных катастроф, в том числе: проведение обобщенного анализа аварий и катастроф;

- проведена разработка обобщенных алгоритмов и математических моделей аварий и катастроф с учетом их масштабов, пространственных и временных реализаций.

Также анализ основных опасных факторов существующих на КВО позволяет анализировать их нелинейные взаимодействия, выраженные также количественными значениями энергий, вещества и информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №16-2909575.

Литература

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность промышленного комплекса. – М.: МГФ «Знание», ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность». - 2002. 464 с.

2. Безопасность России. Анализ риска и проблемы безопасности. Ч1. Основы анализа и регулирования безопасности. – М.: МГФ «Знание». - 2006, 640 с.

3. Безопасность России. Анализ риска и проблемы безопасности. Ч2. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление риском. - М.: МГФ «Знание». - 2006. 751 с.

4. Безопасность России. Анализ риска и проблемы безопасности. Ч3. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов. - М.:МГОФ «Знание». - 2007. 816 с.

5. Безопасность России. Анализ риска и проблемы безопасности. Ч4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности. - М.: МГОФ «Знание». - 2007. 864 с.

6. Безопасность России. Функционирование сложных технических систем. Раздел 1. – М.: МГФ «Знание». - 1998. 448 с.

7. Безопасность России. Функционирование сложных технических систем. Раздел 2. – М.: МГФ «Знание». - 1998. 410 с.

8. Безопасность России. Безопасность трубопроводного транспорта. – М.: МГФ «Знание». - 2002. 752 с.

9. Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Салов С.С., Фалеев М.И., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. Управление риском: риск, устойчивое развитие, синергетика. - М.: Наука. - 2000. 431 с.

10. Матрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. – М.: Изд. центр «Академия». - 2003. 336 с.

11. Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска. Международный научный сборник. – Саратов: ООО «Три А» - 2005. 184 с.

12. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. РД 03-496-02, М. - 2002.

13. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96): Гигиенические нормативы. /М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. - 1996. 127 с.

15. Методика оценки последствий химических аварий (методика «Токси»), согл. С Госгортехнадзором России (письмо от 03.07.98 № 10-03/342), НТЦ «Промышленная безопасность».

16. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ в выбросах предприятий. ОНД-86. Госкомгидромет. - Л.: Гидрометеиздат. - 1987.

17. Методические рекомендации по идентификации опасных производственных объектов. М.: Госгортехнадзор России - 1999. 48 с.

18. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. Серия 27. Выпуск 1/ Кол. авторов. М.: Гос. унитарное предприятие «научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». - 2002. 120 с.

19. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01) серия 03. Выпуск 10/ Кол. авторов М.: Гос. унитарное предприятие «научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». - 2001. 60 с.

Сведения об авторе

Ахметханов Расим Султанович – заведующий лабораторией ИМАШ РАН, тел. 8(495)623-57-55, e-mail: mibsts@mail.ru