

УДК 389.17:006  
ББК 69.68  
К 59

Рецензенты:

ведущий научный сотрудник Института аграрных проблем РАН  
доктор эконом. наук С.А. Андриященко,  
заведующий лабораторией надежности и взрывобезопасности  
ДОО «ВНИПИгаздобыча»,  
канд. техн. наук, ст. научн. сотр. В.А. Сорокованов

Одобрено

редакционно-издательским советом  
Саратовского государственного технического университета

Козлитин А.М., Попов А.И.

К 59 Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. 216 с.

ISBN 5-7433-0733-4

Рассмотрены методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы.

Книга адресована инженерам и экологам, экономистам и менеджерам, работникам государственных органов власти, специалистам в области промышленной безопасности, студентам и аспирантам технических и экономических вузов.

УДК 389.17: 006  
ББК 69.68

ISBN 5-7433-0733-4

© Саратовский государственный  
технический университет, 2000  
© Козлитин А.М., Попов А.И., 2000

<http://risk-2005.narod.ru/>

[kammov@gmail.com](mailto:kammov@gmail.com)

## Глава 1

# СИСТЕМА ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Проведенный обзор нормативно-технической литературы по определению риска технических систем позволяет констатировать, что до настоящего времени в области промышленной безопасности отсутствует общепризнанная система терминов и определений. Вследствие этого возникла необходимость в кратком изложении терминов и определений, применяемых в промышленной и экологической безопасности и используемых в настоящей монографии в контексте излагаемого материала.

Главным образом эти термины заимствованы из Правил и норм ядерной безопасности Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и ряда отдельных работ, в которых они имеют междисциплинарный и общехозяйственный характер. При этом они приведены в строгое соответствие с основополагающими и общетехническими государственными стандартами, используемыми в законодательстве РФ.

Термины и определения расположены в логической последовательности рассматриваемого методологического подхода к анализу опасностей и риска, что позволяет трактовать данный раздел как материал, раскрывающий систему взглядов авторов монографии на решаемую проблему.

Рассматриваемый в монографии методологический подход к количественной оценке опасностей и риска в техносфере базируется на следующих определениях:

- **Безопасность** – защита человека, общества и окружающей среды от **чрезмерной опасности** [МАГАТЭ].
- Под **окружающей средой** понимается внешняя среда, в которой функционирует организация, включая воздух, воду, землю, природные ресурсы, флору, фауну, человека и их взаимодействие (ГОСТ Р ИСО 14001-98).

Следует отметить, что понятия “окружающая среда” и “природная среда” не совпадают. **Природная среда** – это окружение, совокупность природных условий существования человека (литосферы, гидросферы, атмосферы), животных, растительных и других организмов в их естественном состоянии, не являющемся продуктом трудовой деятельности человека. **Окружающая среда** – это среда обитания и производственной деятельности людей, включающая природную среду и ту часть биосферы, которая коренным образом преобразована человеком в объекты хозяйственной деятельности (зда-

ния, дороги, пахотные и иные хозяйственные угодья, промышленные отвалы, зеленные насаждения и т. п.), то есть в техносфере.

Под термином “**чрезмерная опасность**” понимается ситуация, в которой возможно возникновение явлений или процессов, способных поражать людей, нарушать их нормальное жизнеобеспечение, наносить материальный ущерб и/или разрушительно действовать на окружающую природную среду. При таком подходе, учитывая, что в качестве меры опасности введено понятие риска, более естественно определять безопасность как состояние при определенном уровне риска, например, уровне приемлемого риска, который должен быть определен как одно из фундаментальных понятий в концепции безопасности. С этой точки зрения представляется, что определение безопасности как состояние объектов и систем в условиях приемлемого риска является общим и опирается на фундаментальные понятия концепции безопасности.

Основная посылка современной концепции обеспечения безопасности в техносфере – это признание **опасности** как внутреннего свойства “объекта”, заключающегося в возможности причинения вреда (ущерба) непосредственно человеку и окружающей среде, обусловленного наличием у “объекта” запасенной энергии, вредных (опасных) веществ и материалов.

- **Техногенная опасность** – состояние, внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое в виде поражающих воздействий на человека и окружающую среду [ГОСТ Р 22.0.05-94].

Следовательно “**опасность**” – это ситуация, постоянно присутствующая в техносфере и способная в определенных условиях привести к реализации одного или совокупности следующих нежелательных событий – взрыву; пожару; загрязнению окружающей среды радиоактивными или сильнодействующими ядовитыми и вредными для человеческого организма веществами; высвобождению потенциальной энергии гидродинамической волны прорыва крупных гидротехнических сооружений. Перечисленные события относятся к основным опасностям техносферы и характеризуются как **опасные техногенные происшествия**.

- **Опасное техногенное происшествие** – это промышленные или транспортные аварии и катастрофы, пожары, взрывы, высвобождение различных видов энергии или опасных и вредных веществ [ГОСТ Р 22.0.05-94].

Необходимо отметить, что в соответствии с вышеизложенным термин “опасное происшествие” характеризует ситуации в окружающей среде, возникающую после реализации опасности. При реализации опасности, вследствие техногенной аварии или катастрофы, на прилегающей к потенциально опасному объекту территории форми-

руется поле поражающих факторов. В зависимости от вида реализовавшейся опасности различают следующие **поражающие факторы**: ударная волна и поле разлетающихся осколков при взрывах; поток тепловой энергии при пожарах; потенциальная энергия гидродинамической волны прорыва при разрушении гидротехнических сооружений; поля концентраций радиоактивных, опасных химических и биологических веществ при аварийных выбросах в окружающую среду.

- **Поражающий фактор** – *составляющая опасного происшествия*, характеризующаяся физическими, химическими и биологическими действиями или проявлениями, которые определяются или выражаются соответствующими параметрами [ГОСТ Р 22.0.05-94].

Реализация опасности – это, в общем случае, случайное явление и, соответственно, возникновение поражающего фактора будет определяться вероятностью этого явления или его частотой. Принципиально важно отметить, что при использовании этих характеристик необходимо всегда иметь в виду их различие: частота – это результат того, что уже произошло, а вероятность – это предсказание того, что может случиться в будущем. В силу этого, обычно используемый классический способ интерпретации частоты того или иного события, полученный из статистических (исторических) данных, как вероятность этого события в будущем, требует в каждом конкретном случае соответствующих доказательств и установления, связанных с этим неопределенностей. Такой классический способ основан на предположении, что обстоятельства, имевшие место в прошлом, сохраняются и в будущем. Если обстоятельства изменятся, должны измениться и исходные предпосылки для прогноза.

Сформировавшееся, в результате техногенной аварии или катастрофы, поле поражающих факторов проявляется через поражающие воздействия.

- **Поражающее воздействие** – негативное влияние одного или совокупности поражающих факторов на жизнь и здоровье людей, на сельскохозяйственных животных и растения, объекты народного хозяйства и окружающую природную среду [ГОСТ Р 22.0.05-94].

В зависимости от вида реализовавшейся опасности различают следующие **поражающие воздействия**: ударную, тепловую, дозовую, экологическую нагрузки на людей, сельскохозяйственных животных и растения, объекты народного хозяйства и окружающую природную среду. Как следствие поражающего воздействия, на прилегающей к потенциально опасному объекту территории создается чрезвычайная ситуация.

- **Техногенная чрезвычайная ситуация** – состояние, при котором в результате техногенной аварии или катастрофы нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде [ГОСТ Р 22.0.05-94].
- **Потенциально опасный объект (ПОО)** – объект, на котором используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют радиоактивные, пожаровзрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации [ГОСТ Р 22.0.05-94].
- **Промышленная безопасность в чрезвычайных ситуациях** – состояние защищенности населения, производственного персонала, объектов народного хозяйства и окружающей природной среды от опасностей, возникающих при промышленных авариях и катастрофах в зонах чрезвычайной ситуации [ГОСТ Р 22.0.05-94].
- **Промышленная авария** – авария на промышленном объекте, в технической системе или на промышленной установке, создающая на объекте или определенной территории угрозу жизни и здоровью людей и приводящая к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного процесса, а также нанесению ущерба окружающей природной среде [ГОСТ Р 22.0.05 -94].

При оценке опасностей потенциально опасного объекта выделяются следующие классы аварий:

- **Проектная промышленная авария ПА** (включая максимальную проектную аварию МПА) – для которой проектом определены исходные и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие ограничения последствий аварий установленными пределами [ГОСТ Р 22.0.05-94].
- **Запроектная промышленная авария ЗА** – вызываемая неучтенными для проектной аварии исходными состояниями и сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности и реализациями ошибочных решений персонала, приведшими к тяжелым последствиям [ГОСТ Р 22.0.05-94]. В зависимости от степени тяжести последствий различают запроектные аварии **ЗА–1, ЗА–2, ЗА–3**.
- **Промышленная катастрофа** – крупная промышленная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей либо разрушения и уничтожение объектов, материальных ценностей в значительных размерах, а также привед-

шая к серьезному ущербу окружающей природной среде [ГОСТ Р 22.0.05-94].

Промышленная катастрофа в рассматриваемом методологическом подходе к оценке опасностей и риска интерпретируется авторами как **максимальная гипотетическая авария (МГА)**. Последняя с точки зрения показателей уровня безопасности населения и территорий, представляет наибольший интерес, хотя и является маловероятной.

Заметим, что проектные аварии характеризуют профессиональный риск (объект воздействия – персонал предприятия), запроектные – антропогенный риск (объект воздействия – население на прилегающей территории).

При проведении расчетов с целью определения верхней границы последствий прежде всего для населения, используется “граничная (ограниченная) выборка”, в которую входят сценарии только аварий катастрофического типа. Однако такой подход фиксирует внимание скорее на крайне редких событиях, чем на широком спектре характерных и более частых аварий, на которые, как правило, приходится основная доля риска. С целью оценки риска для всех возможных реципиентов, находящихся в пределах круга вероятного поражения, проводится “репрезентативная выборка”, в которую входят наиболее характерные сценарии из каждого класса аварий.

- **Зона вероятной чрезвычайной ситуации (зона ВЧС)** – территория, на которой существует либо не исключена опасность возникновения чрезвычайной ситуации [ГОСТ Р 22.0.02-94].

В рассматриваемом методологическом подходе к оценке опасностей и риска зона ВЧС интерпретируется авторами монографии как **круг вероятного поражения**.

- **Круг вероятного поражения (КВП)** – это 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 потенциально опасном объекте постулируемой максимальной гипотетической аварии.
- **Реципиент риска** (лат. recipients–принимающий) – объект техногенного воздействия (человек, объекты экономики, экосистемы), воспринимающий воздействие определенного вида.
- **Поражение реципиента риска** – нанесение с определенной вероятностью ущерба рассматриваемого уровня (летальный исход для человека, потеря взрыво- и пожароустойчивости для объектов экономики, загрязнение сверх установленных норм для экосистем).

Данный термин описывает острые, реально проявившиеся эффекты с явно выраженным порогом воздействия на человека, материальные ценности и окружающую природную среду.

При оценке последствий техногенных аварий и катастроф для производственного персонала и населения, по-видимому, достаточно выделить следующие категории **поражения человека**: летальный исход, тяжелые травмы, травмы средней тяжести, легкие поражения. Однако понятие травмы несет в себе элемент неопределенности, так как трудно четко разграничить, например, тяжелые и средние, средние и легкие поражения. Поэтому, при прогнозировании и оценке последствий техногенных ЧС под поражением человека понимается летальный исход (событие смерти). Необходимо подчеркнуть, что при оценке риска принципиально важно говорить не о событии смерти вообще, а именно о летальных исходах от реализации конкретной опасности. Например, летальные исходы от отравления парами СДЯВ или летальные исходы от механических травм в результате действия воздушной ударной волны взрыва и т.п. Такой подход позволяет однозначно связать риск смерти с действием конкретного поражающего фактора в пределах круга вероятного поражения, где рассматриваются острые, соматико-нестохастические эффекты, проявляющиеся при высоких уровнях поражающего воздействия на человека.

- **Взрывоустойчивость** – предельная величина избыточного давления  $\Delta P_{lim}$ , до которой рассматриваемое оборудование, аппараты и конструкционные элементы зданий и сооружений сохраняют ремонтпригодность или возможность восстановления при капитальном ремонте.

Обычно это может быть в случае, если “объект” получит среднюю степень разрушений. При избыточном давлении на фронте ударной волны  $\Delta P_{ф} = \Delta P_{lim}$  “объект” теряет взрывоустойчивость. При таком избыточном давлении “объект” получает сильную степень разрушений – его восстановление нецелесообразно и возможно лишь путем нового строительства с использованием отдельных сохранившихся конструкций и оборудования.

- **Пожароустойчивость** – предельная величина плотности теплового потока  $g_{lim}$  при которой не происходит воспламенение веществ и материалов при длительных тепловых нагрузках и возникновение полжара. При значениях  $g_i = g_{lim}$  “объект” теряет пожароустойчивость.

Из всего сказанного выше можно выделить следующую причинно-следственную цепь событий: потенциально опасный объект, как источник опасности; опасное техногенное происшествие; формирование поля поражающих факторов, в результате аварии определенного класса; поражающее воздействие, при наличии рецепи-

ентов риска; возникновение ЧС на прилегающей к “объекту” территории. Вследствие стохастического (вероятностного) характера перечисленных событий, прогностическая оценка уровня потенциала опасности (степени защищенности, т.е. безопасности реципиента) в каждой конкретной точке прилегающей территории, а так же масштабов последствий рассматриваемого спектра аварий возможна только с привлечением методологии **анализа опасности и оценки риска**.

- **Анализ опасностей и риска в техносфере** – совокупность эвристических, аналитических и формализованных методов прогнозных исследований в экологии и промышленной безопасности, позволяющих учитывать как вероятностную природу техногенных аварий, так и совместное влияние всех факторов, определяющих характер их развития и масштабы воздействия на человека и окружающую среду.

Методология техногенного риска объединяет структурно три основных блока аналитических методов оценки опасностей и анализа риска: **идентификация; моделирование; квантификация**.

- **Идентификация** – первичное (начальное) определение степени опасности “объекта”, основанное на анализе возможных видов ущерба, наносимого человеку и окружающей среде, и выделение приоритетных для проведения последующего анализа источников техногенной опасности.

Стадия идентификации предполагает подготовку системы исходных данных на объект и территорию, выявление и количественное описание опасностей (запасов энергии и опасных веществ на объекте, условий их разрушительного высвобождения). На стадии идентификации создается компьютерная база данных об объекте, хранящая необходимую информацию для последующего расчета сценариев аварий.

- **Моделирование** – разработка всего множества возможных сценариев возникновения и развития аварий на объекте, построение и расчет деревьев отказов, деревьев событий и диаграмм “причина–следствие” с целью выявления последовательности опасных ситуаций и оценки частоты (вероятности) реализации каждого из сценариев.
- **Квантификация** – количественная оценка интегрированного риска и принятие адекватных решений.
- **Риск** – мера для количественного измерения опасности, представляющая собой векторную (т.е. многокомпонентную) величину, измеренную с помощью статистических данных или рассчитанную с помощью имитационных моделей, и включающую в себя следующие количественные показатели:

- а) величину ущерба от воздействия того или иного опасного фактора;
  - б) вероятность возникновения (частоту возникновения) рассматриваемого опасного фактора;
  - с) неопределенность в величинах как ущерба, так и вероятности.
- **Ущерб** – фактические или возможные социальные и материальные потери (летальные исходы, нарушение процесса нормального жизнеобеспечения населения, утрата того или иного вида собственности и т.д.) или ухудшение природной среды вследствие негативных воздействий.

В монографии рассматривается прямой ущерб в натуральных и денежных единицах измерения. Прогнозируемый прямой ущерб от всего комплекса последствий рассматриваемого спектра сценариев аварий на потенциально опасном объекте определяется величиной **полного ущерба**  $Y_{\Sigma}$ .

#### **Составляющие полного ущерба:**

а)  $Y_c$  – социальный ущерб (ущерб от людских потерь - безвозвратных и санитарных) с учетом ущерба от нарушения нормального жизнеобеспечения населения; б)  $Y_M$  – материальный ущерб; в)  $Y_{\text{Э}}$  – экологический ущерб.

- **Интегрированный риск**  $R_{\Sigma}$  – ущерб взвешенный по вероятности наступления негативных событий, комплексный показатель прогнозируемого полного ущерба, нанесенного человеку, объектам экономики и экосистемам от всего спектра сценариев возможных аварий на потенциально опасном объекте.

**Составляющие интегрированного риска:** риск ущерба от людских потерь (безвозвратных и санитарных); риск ущерба от нарушения нормального жизнеобеспечения населения; риск материального ущерба; риск экологического ущерба, измеренные в денежном эквиваленте (руб/год).

Таким образом, **интегрированный риск** – есть риск эксплуатации потенциально опасного объекта, определяемый комплексом последствий от реализации чрезмерной опасности.

- **Потенциальный риск**  $R(E)$  – пространственное и временное распределение частоты реализации поражающего воздействия.

Данная мера опасности выражает собой потенциал максимально возможного риска поражения реципиента (человека, материальных ценностей или экосистем) в рассматриваемой точке пространства, при условии, что вероятность нахождения реципиента риска в этой же точке равна единице. При реализации на потенциально опасном объекте возможных сценариев развития аварии, в данной точке пространства с разной частотой в течение года могут действо-

вать поражающие факторы, обуславливающие формирование для реципиентов, находящихся с единичной вероятностью в этой же точке пространства, определенного суммарного потенциала риска поражения. Таким образом, вокруг источника опасности, в пределах круга вероятного поражения, существует интегральное поле потенциального риска (с учетом наличия реципиентов).

- **Картированный риск** – интегральное поле потенциального риска, выстроенное на карте изолиниями равного риска.

Изолинии строятся для некоторых фиксированных уровней потенциального риска, соответствующим численным значениям вероятности поражения реципиента в течение года:  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  и т.д. Такой подход позволяет выделить на топографической карте промышленного района зоны: чрезвычайно высокого риска ( $>10^{-4}$  соб./год); высокого риска ( $10^{-4} \div 10^{-5}$  соб./год); приемлемого риска ( $10^{-5} \div 10^{-6}$  соб./год) и низкого риска ( $<10^{-6}$  соб./год).

- **Индивидуальный риск R(L)** – частота летальных исходов, возникающих при реализации определенных опасностей в определенной точке пространства с учетом вероятности нахождения в ней индивидуум.
- **Социальный (коллективный) риск R(N)** – ожидаемое число летальных исходов в результате возможных аварий за определенный период времени.

Для событий с тяжелыми последствиями от детерминированных эффектов консервативно принимается  $R(N) = \sum R(L_i) \cdot N_i$ , где  $N_i$  – число людей, в  $i$ -ой области пространства, подвергающихся воздействию поражающего фактора, превосходящего по величине граничный критерий воздействия (то есть поражающие воздействия рассматриваются в пределах КВП). Величина  $R(N)$  интерпретируется как риск людских потерь [РД–08–120–96].

- **Система управления окружающей средой** – часть общей системы административного управления, которая включает в себя организационную структуру, планирование, ответственность, методы, процедуры и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации, анализа и поддержания экологической политики (деятельности) [ГОСТ Р ИСО 14004-98].
- **Экологическая эффективность (характеристика экологичности)** – измеряемые результаты системы управления окружающей средой, связанные с контролированием организацией ее экологических аспектов, основанных на ее экологической политике (деятельности), а также на целевых и плановых экологических показателях [ГОСТ Р ИСО 14004-98].
- **Аудит системы управления окружающей средой** – систематически и документально оформленный процесс проверки объективно получаемых и оцениваемых данных для определения

соответствия системы управления окружающей средой, принятой в организации, критериям аудита такой системы, установленным данной организацией, а также для сообщения результатов, полученных в ходе этого процесса руководству [ГОСТ Р ИСО 14004-98].

- **Экологический аспект** – элемент деятельности организации, ее продукции или услуг, который может взаимодействовать с окружающей средой [ГОСТ Р ИСО 14004-98].
- **Управление риском** – разработка и обоснование оптимальных программ деятельности, призванных эффективно реализовать решения в области обеспечения безопасности.

Главный элемент такой деятельности – процесс оптимального распределения ограниченных ресурсов на снижение различных видов риска с целью достижения, в том числе и с помощью страхования такого уровня безопасности населения и окружающей среды, какой только достижим и приемлем с точки зрения экономических и социальных факторов.

- **Приемлемый уровень риска** – уровень индивидуального риска, обусловленный хозяйственной деятельностью, который является для общества приемлемым и может контролироваться соответствующим органом.

Он должен быть настолько низким, насколько это приемлемо и возможно по экономическим и социальным соображениям. (Отметим, что в ряде отечественных ГОСТов пожарной безопасности и в Нормах радиационной безопасности НРБ–96, для населения заложен уровень риска  $10^{-6}$  случаев в год).

- **Предел индивидуального риска** – уровень индивидуального риска, обусловленный хозяйственной деятельностью, который не должен превышать, независимо от экономических и социальных преимуществ такой деятельности для общества в целом (НРБ–96 установлен предел индивидуального риска для населения  $5 \cdot 10^{-5}$  случаев в год, для производственного персонала  $10^{-3}$  случаев в год).

При определении потерь общества от возможных смертельных исходов человеческая жизнь должна оцениваться в стоимостном выражении. В качестве такой величины используется цена спасения жизни индивидуума.

- **Цена спасения жизни индивидуума (ЦСЖ)** – средневзвешенные по основным сферам жизнедеятельности затраты в спасение жизни каждого дополнительного индивидуума.

Цена спасения жизни относится к разряду тех величин, которые принципиально не могут быть вычислены с большой точностью. Поэтому, учитывая значительную неопределенность данной вели-

чины, предлагается при расчетах брать нижнее, среднее и верхнее значение.