

## УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Г.Н. Беляев, И.М. Тетерин, В.Н. Яцуценко, И.В. Резник, Ю.И. Артюшин

*Понятие риска является универсальной количественной мерой потенциальной опасности. Охарактеризовав эффективность действия тех или иных мероприятий по снижению риска, имея распределение уровней риска в экономических эквивалентах, можно оценить применимость и значимость вариантов мероприятий, обеспечив тем самым оптимальное управление риском на технологических объектах.*

Основными причинами роста количества техногенных аварий по-прежнему является изношенность и старение значительной части основных фондов, падение технологической и производственной дисциплины, отсутствие необходимой нормативной базы, отсталость и несоответствие применяемых технологий современным требованиям, ослабление органов государственного надзора [1]. Таким образом, безопасность выдвигается в число основных характеристик промышленных объектов. Это особо подчеркивается в принятой Правительством Федеральной целевой научно-технической программе «Экологическая безопасность России», в которой поставлена задача безотлагательного решения широкого круга вопросов, связанных с технологической и экологической безопасностью, предусмотрена разработка и внедрение «Методических руководств по оценке экологического риска от опасных производств», «Методологии минимизации риска», которые отвечали бы на вопрос: «Какому риску подвергается население региона в связи с производственной деятельностью». В качестве такого критерия выступает формально показатель суммарного риска ( $F$ ) для всего населения ( $N$ ). При этом на основании поля риска  $R_k^*(x, y)$  можно и необходимо выделить из всего населения только ту группу  $N^*$ , которая потенциально может быть подвержена опасности. Эта группа риска также может быть проранжирована по уровню потенциального риска, т. е. построена зависимость (гистограмма) распределения субъектов промышленного региона по уровням риска —  $N(R)$ .

Решение о допустимости уровня риска, как правило [2], принимают исходя из среднего значения индивидуального риска для субъекта:

$$IR^{ov} = F / N^*.$$

Важно отметить, что деление суммарного риска на все население промышленного региона приводит к значительному занижению этого показателя. Поэтому определение реальной группы риска ( $N^*$ ) является весьма важным для получения объективных интегральных показателей.

В том случае, когда в качестве критерия принимается утверждение, что «ни один человек из группы риска не может подвергаться уровню риска выше порогового», то ответ на этот вопрос дает только рассмотрение  $N-R$  диаграммы.

Далее анализ риска состоит в том, что на практике население промышленного региона проживает компактными группами (квартал, поселок, деревня и т. п.) и распределено неравномерно по всей терри-

тории анализируемого региона. В этом случае необходимо провести выделение этих групп в самостоятельные подгруппы риска и оценить для каждой подгруппы параметры  $IR^{ov}$ ,  $F_k$ ,  $N_k$ , а также дать зависимости  $N_k(R)$ . Эта процедура позволяет проранжировать население региона по степени риска  $IR_k^{ov}$  в зависимости от территории проживания подгруппы. На основании этой информации выбираются конкретные поселки, районы, кварталы, уровень риска в которых сравним или превышает пороговый  $R_n$ .

Вопрос об уровне приемлемого риска является наиболее важным в принятии решений. При этом представляется целесообразным выделить несколько уровней, на которых может быть оценен фоновый риск [3]:

- мировой;
- национальный (уровень страны);
- региональный.

Отметим, что однозначной зависимости между этими уровнями нет, и уровень регионального фонового риска может как превышать, так и быть ниже риска, оцениваемого на мировом уровне.

При разработке проектов, потенциально опасных для населения, уровень риска целесообразно сравнивать именно с минимальным уровнем фонового риска на всех уровнях, поскольку недопустимо создавать и эксплуатировать какой-либо объект лишь на том основании, что его уровень ниже регионального, в то время как этот уровень значительно превышает национальный уровень риска [1].

Если определено, что уровень риска для ряда районов региона превышает допустимые значения, то проводится вычисление социальной значимости риска для населения в терминах суммарного экономического ущерба от гибели, травмирования людей и материальных потерь в результате чрезвычайных ситуаций. Экономический эквивалент социального ущерба нелинейно связан со степенью риска:

$$ESC = \sum_i C_i N_i^p \quad (1, 2 < p < 2).$$

Согласно современным представлениям [4] мероприятия по обеспечению безопасности людей планируются исходя из предположения, что в случае смерти человека экономический ущерб составит сумму, равную экономическому эквиваленту человеческой жизни. Экономический эквивалент ущерба в результате травмирования обычно принимается равным 0,1 от экономического эквивалента человеческой жизни. С учетом этого, а также с учетом модели пропорцио-

нального снижения риска одновременной гибели  $N$  человек, получено выражение для вычисления математического ожидания экономического ущерба от гибели и травмирования людей в виде:

$$M(Y) = 2(RN_i)^2 / R_n^* \mathcal{E}(T_{ж}),$$

где  $R^*$  – приемлемый уровень риска;  $R$  – вероятность несчастного случая (гибели)  $N_i$  человек одновременно;  $\mathcal{E}(T_{ж})$  – экономический эквивалент человеческой жизни.

В общем случае экономический эквивалент зависит от возраста человека:

$$\mathcal{E}(t_{ж}) = \mathcal{E}_0 \cdot e^{\frac{(t_{ж}-c)^b}{a}},$$

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}(T_{ж}) / e^{\frac{(T_{ж}-c)^b}{a}},$$

где  $\mathcal{E}_0$  – экономический эквивалент жизни новорожденного;  $\mathcal{E}(T_{ж})$  – экономический эквивалент жизни среднестатистического человека в возрасте  $t_{ж}$ ;  $T_{ж}$  – средний возраст живущих людей;  $a=37,36$ ;  $b=1,5$ ;  $c=0$  – параметры распределения живущих людей в СССР на 1985–1988 гг. [4].

Так, на 1985–1988 гг.  $\mathcal{E}_0$  составило в рублях – 379000 р. или 1890 т пшеницы.

Согласно отмеченным выше положениям, для расчета экономического ущерба в качестве реально существующего уровня фоновых (допустимых) риска принимается значение  $10^{-5}$  смертей/год. Следует подчеркнуть, что зарубежные значения эквивалента как правило значительно выше и, например, для США составляют на сегодня от 2 до 4 млн долларов при уровне допустимого риска не выше  $10^{-6}$ . Поскольку компенсационные затраты зависят от величины риска в квадратичной степени, в расчетах суммарных затрат следует учитывать уровень индивидуального риска  $IR_k^{ov}$  для населенных пунктов (групп риска  $N_k$ ).

Для оценки суммарных компенсационных затрат  $M(Y)$  для всего промышленного региона в качестве нижней оценки можно сделать предположение, что в случае аварии может погибнуть не более 1 человека. Тогда формула для вычисления экономического ущерба преобразуется к виду:

$$M(Y) = 2 \sum_{k=1}^k N_k (IR_k^{ov})^2 / (R_n^* \mathcal{E}(T_{ж})).$$

Зная  $M_k(Y)$  для каждой группы риска  $N_k$ , можно проанжировать эти группы по объему компенсационных затрат на проживание в зоне и работу на объекте повышенного риска.

Поскольку принятие решений в области обеспечения безопасности базируется прежде всего на выборе альтернатив вложения ограниченных ресурсов и средств, то этот выбор может быть обоснован анализом матрицы рисков в зависимости от общего количества источников риска ( $J$ ). Матрица влияния различных опасных процессов и объектов промышленного региона на группы риска ( $N_k$ ) строится по параметрам вклада каждого источника в интегральные показатели суммарного ( $F(k,j)$ ,

$j=1, J, k=1, K$ ) или среднего индивидуального риска ( $IR^{ov}(k,j)$ ,  $j=1, J, k=1, K$ ).

В результате анализа этих матриц выбираются те потенциально опасные процессы и объекты, вклад которых в суммарный риск максимален.

После выбора альтернативных объектов анализу подвергаются показатели риска для различных сценариев ( $I$ ). При этом следует учитывать как значения интегральных показателей риска для каждого сценария, так и масштабы самих аварийных процессов. Как показали исследования зарубежных авторов [3], вероятность одновременной гибели нескольких человек ( $FN$ -диаграмма) уменьшается и может быть описана зависимостью типа:

$$\ln(F) \cong F_0 - \ln(N).$$

Поэтому значимость того или иного сценария ( $I$ ) развития аварии можно в первом приближении оценивать площадью летальной зоны (при этом предполагается, что плотность распределения людей в окрестности источника опасности на момент расчета является величиной постоянной). Площадь летальной зоны определяется из рассчитанных полей потенциальной опасности:

$$S_3 = \int_S R_M(x, y) dS.$$

Эта величина может использоваться в оценке относительного экономического ущерба от аварий, поскольку  $S_3 \sim N$  (числу пострадавших).

В данном случае под сценарием аварии рассматриваются все исходы, связанные с первоначальным выбросом опасного вещества в окружающую среду.

Имея набор вероятности  $\lambda$ , реализации аварийных сценариев с  $S_3(i)$ , для подробного анализа причин аварии можно выбрать сценарии с максимальным вкладом в риск.

Принятие решения о снижении риска может идти по нескольким направлениям:

1. Снижение вероятности возникновения аварии.

Очевидно, что этот фактор определяется надежностью технологического оборудования, возможностью контроля и поддержания его ресурса, а также эффективностью управления технологическим процессом.

При этом крайне важным является исследование закономерностей возникновения крупномасштабных аварийных отказов из первичных отказов отдельных элементов системы с учетом конкретной технологической специфики объекта. Как отмечалось выше, в мировой практике для этой цели, как правило, используются методики построения «деревьев отказов» и соответствующие программные комплексы, позволяющие исследовать неоднозначное влияние различных факторов (физико-химические характеристики материалов, технологии, системы контроля и управления, человеческий фактор и т. п.) на объективные предпосылки и частоту возникновения аварий различных типов. Построение указанных логических схем позволяет также определить наиболее эффективные средства и методы либо

полного блокирования отдельных «цепочек» возникновения аварий, либо уменьшения их вклада в интегральное значение вероятности аварии.

2. Уменьшение масштабов и/или изменение направлений распространения физических полей воздействия от аварии в окружающем пространстве.

Как показывает практика, эффективность этих действий в значительной мере зависит от правильного понимания и возможностей достоверного прогноза физических эффектов, связанных, с авариями, а также сценариев их развития и масштабов воздействия на окружающую среду и человека. Уровень материальных затрат на снижение масштабов распространения полей физического воздействия на окружающую среду должен в обязательном порядке увязываться по мере своей значимости с общей стратегией уменьшения риска для рассматриваемой группы воздействия.

3. Уменьшение масштабов поражения  $S_j$ .

В первую очередь речь идет о поражении людей, т. е. технического персонала и населения. При этом важным являются следующие основные моменты: *во-первых*, правильное понимание специфики поражающих факторов в конкретной аварийной ситуации; *во-вторых*, соответствующая подготовленность персонала и населения к адекватным действиям в условиях чрезвычайных ситуаций, наличие индивидуальных средств защиты или укрытий при работе в зонах потенциальной опасности; *в-третьих*, частичное изменение механизма поражения, например, за счет готовности оказать экстренную медицинскую помощь пострадавшим.

Наконец, одним из направлений снижения риска является выведение субъекта воздействия из зоны негативного влияния при его перемещении относительно опасного объекта на безопасное состояние. Самостоятельно (по крайней мере на стадии проектирования) может рассматриваться задача об оптимальном пространственно-временном положении групп субъектов и объектов из условий минимизации интегрального риска системы в целом.

Рассмотрев возможные альтернативные варианты снижения риска с экономической точки зрения, следует оценивать стоимость каждого из них ( $M$ ). Критерий выбора альтернативы можно определить как минимум суммарной стоимости ( $Z$ ) затрат на снижение риска экономических последствий аварий, которая определяется:

$$Z = M + S,$$

где  $S$  — интегральный экономический ущерб потенциальных техногенных аварий.

$$S = \sum_{i=1}^N k_i R_i,$$

где  $k_i$  — коэффициент экономического соответствия натурального ущерба;  $R_i$  — риск последствий для  $i$ -го объекта.

Таким образом охарактеризовав эффективность действия тех или иных мероприятий по снижению

риска, имея распределение уровней риска в экономических эквивалентах, можно оценить применимость и значимость вариантов мероприятий, обеспечив тем самым оптимальное управление риском на технологических объектах.

Переход от натуральных ущербов к их экономическим эквивалентам представляет весьма сложную задачу, поскольку в ряде случаев отсутствуют реальные нормативные показатели платы за причиненный ущерб. Как показывает практика, приводимые статистические данные [1] о потерях отражают лишь прямые потери, такие как стоимость основных фондов, продуктов производства. Подобное положение характерно не только в нашей стране, но и за рубежом. Так по расчетам американских исследователей прямые потери от аварии на атомной станции «Три-Майл-Айленд» оцениваются немногим более 1 млрд долл. В то же время совокупные издержки по АЭС составили колоссальную величину — 130 млрд долл., которые складываются из увеличения сроков сооружения АЭС с 9 до 13 лет (55 млрд долл.), установки новых систем контроля, безопасности и переподготовки персонала на всех АЭС (38 млрд долл.), модернизации реакторов (11 млрд долл.) и прочих расходов, включая компенсационные выплаты (26 млрд долл.). Отметим, что ущерб от аналогичной аварии на Чернобыльской АЭС оценивается у нас в пересчете по официальному курсу валют на уровне 400 млн долл.

Важность проблем, связанных с оценкой экономического эквивалента риска, часто обсуждается исследователями разных стран. Так, по мнению ученых «Форума по геологоразведке и добыче» к экономическим потерям следует относить:

- потери запасов;
- нанесение травм людям;
- ущерб оборудованию и имуществу;
- остановка производства или перебои в производственном процессе;
- ущерб окружающей среде;
- потери капитала, ухудшение экономической конъюнктуры.

Приведенные выше сведения широко могут быть использованы страховыми компаниями в процессе управления экономическими рисками.

Представленная выше информационная база позволяет проводить комплексный анализ и управление риском по производственному региону в целом.

Отметим, что следует учитывать, что 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 проблемами безопасности и охраны окружающей среды в промышленности и ряда других факторов.

В заключение отметим, что понятие риска является универсальной количественной мерой потенциальной опасности, позволяющей:

- провести корректировку исходных целей и стратегии решения задач анализа риска;
- провести сравнение опасностей различной природы и механизмов действия;
- провести классификацию и ранжирование потенциальных источников опасности (технологических объектов) по их вкладу в интегральные показатели риска предприятия (региона), а также анализ пространственно-временного распределения риска по территории вокруг объекта для различных субъектов;
- изучить механизм и исследовать (увидеть «изнутри») причинно-следственную логику возникновения и развития аварий, а также влияние на показатели риска различных факторов технологического, природного и социального характера;
- обеспечить направленное снижение рисков за счет оптимального управления технологическими (техническими) и организационно-методическими факторами воздействия (снижение вероятности, уменьшение величины ущерба) с учетом ограничений по ресурсам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий РФ от ЧС природного и техногенного характера. — М.: МЧС России, 2002.
2. Хенли Э., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1984. — 528 с.
3. Евстафьев И.Б., Холстов В.И., Григорьев С.Г. Методические основы оценки аварийной опасности объектов по хранению и уничтожению химического оружия // В сб.: Проблемы безопасности ЧС. — 1992. — Вып. 3. — С. 2–15.
4. Харисов Г.Х. Обоснование затрат, выделяемых на предотвращение гибели людей при несчастных случаях, авариях, катастрофах, стихийных бедствиях // В сб.: Проблемы безопасности ЧС. — 1993. — Вып. 8. — С. 73.

Поступила 28.03.2008 г.

#### Ключевые слова:

Технологические объекты, оптимизация управления риском.

УДК 338.2:614.8

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УЩЕРБА ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Г.Н. Беляев

*Оценка риска на некоторой территории, включая расчеты возможного числа погибших (пострадавших) людей и экономических потерь, которые могут быть вызваны опасными явлениями, осуществляется на основе анализа опасности территории, угроз для людей и объектов, их уязвимости и возможного ущерба. В статье раскрываются понятие ущерба и методы его оценки от гипотетической и реальной аварии.*

Угроза для жизнедеятельности человека от техногенных опасностей реализуется в виде негативных воздействий [1, 2], возникающих в результате аварий и катастроф на объектах техносферы. Эти события непосредственно связаны с ущербом.

Согласно установившимся на настоящий момент времени представлениям *ущерб* — это результат негативного изменения состояния объектов вследствие каких-то событий, явлений, действий, выражающийся в нарушении их целостности или ухудшении других свойств, т. е. под ущербом понимаются фактические или возможные социальные и экономические потери (отклонение здоровья человека от среднестатистического значения: его болезнь или даже смерть, нарушение процесса нормальной хозяйственной деятельности, утрата того или иного вида собственности, других материальных или природных ценностей и т. д.), а также ухудшение окружающей человека среды [3, 4]. Понятие «последствия аварии» носит обобщенный, неэкономический характер, в то время как понятие ущерба — есть экономическая количественная величина,

которая должна представляться в стоимостном выражении. Иными словами, *ущерб* — это оцененные последствия. Оценка ущерба заключается в определении его величины в натуральном или денежном выражении (экономическая оценка ущерба).

Будем различать методы оценки ущерба от гипотетической и реальной аварии. Если рассматривается гипотетическая авария, то об этих видах ущерба говорят как о предполагаемых.

Для различных сценариев развития чрезвычайной ситуации (ЧС) расчетным методом получаются различные значения ущерба. В силу влияния на размер ущерба большого числа случайных факторов в задачах прогноза следует рассматривать случайную величину ущерба  $W$ , описываемую функцией распределения  $F(w)=P(W \leq w)$ .

Определение  $F(w)$  проводится стандартными методами математической статистики [5–9]. Статистические данные об ущербе в реальных ЧС на некотором временном интервале образуют выборку из некоторой генеральной совокупности и описываются статистической функцией распределе-