

---

---

**СЕКЦИЯ**  
**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС**

---

---

УДК 62.91.25(006.91)

**ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ОЦЕНОК**  
**ТЕХНОГЕННОГО РИСКА**

**А.Г. Юферов**

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал НИЯУ «МИФИ», г. Обнинск,  
Калужская обл., Россия*

Сравнивается ряд возможных оценок неопределённости техногенного риска - среднее квадратическое отклонение, вероятностная квантильная характеристика, энтропийная оценка интервала неопределённости.

*Ключевые слова:* техногенный риск, оценка неопределённости.

Современные методики оценки техногенных рисков [1] опираются на алгоритмы, предложенные достаточно давно [2]. Однако ряд аспектов, которые полезно учитывать при оценке, в рамках классических подходов не проработан в достаточной степени. Это касается выбора шкал для представления оценок риска и характеристики неопределённости оценок в этих шкалах. В настоящее время неопределённость рисков как величина рассматривается применительно только к КОР - количественной оценке риска [3]. Это обусловлено отчасти тем, что решения, предлагаемые современными метрологическими стандартами для описания интервала неопределённости [4], применимы только к количественным шкалам, в которых допустимы арифметические операции. Имеют место следующие подходы.

1. Среднее квадратическое отклонение (СКО) трактуется как «стандартная неопределённость». СКО удобно тем, что различные источники неопределённости учитываются посредством суммирования дисперсий (возможно, с учётом корреляционного вклада). Применительно к оценке риска как среднего ущерба для каждого узла дерева событий это означает, что неопределённость оценки в узле есть среднеквадратичное «неопределённостей» инцидентных данному узлу ветвей.

2. Вероятностная квантильная характеристика указывает интервал неопределённости и доверительную вероятность – долю попаданий в этот интервал. Для многих законов распределения установлена простая связь СКО и ширины интервала неопределённости при доверительной вероятности 90%:  $d_{0,9} = 1.6\sigma$ . Это соотношение можно использовать для квантильной оценки, когда закон распределения не известен (что характерно для практических ситуаций оценки рисков).

3. Очевидно, при назначении доверительной вероятности имеет место определённый произвол. Для его исключения предлагается [5] использовать энтропийную оценку интервала неопределённости  $d_s = \exp(H)$ , где  $H$  – энтропия распределения. При этом для различных распределений вычисление энтропии приводит к соотношению  $d_s = K_s \sigma$ , где  $K_s$  - энтропийный коэффициент, зависящий от конкретного распределения.

Как видим, среднее квадратическое отклонение фигурирует во всех схемах описания интервала неопределённости. Оно содержательно интерпретируется и применимо как в вероятностных, так и в детерминированных моделях погрешности. Поэтому представляется целесообразным именно его использовать для описания

неопределённости оценки риска. Рассмотрим, например, многоуровневую формулу Фарбера, выражающую итоговый риск как взвешенную сумму ущерба по иерархии источников или моментов появления ущерба

$$Q = \sum_{j_1=1}^{n_1} p_{j_1} \sum_{j_2=1}^{n_2(j_1)} p_{j_1 j_2} \cdots \sum_{j_r=1}^{n_r(j_1, \dots, j_{r-1})} p_{j_1 j_2 \dots j_r} q_{j_1 j_2 \dots j_r}$$

Здесь, при равновероятности и некоррелированности источников, неопределённость конечного ущерба выражается средним квадратическим первичных ущербов. С другой стороны, СКО складываются алгебраически при большой коррелированности источников. Это даёт существенно отличающиеся значения неопределённости. Иные значения будут иметь место и при учёте временных и стохастических свойств величин  $p$  и  $q$  [6].

Таким образом, СКО пригодно как характеристика неопределённости количественной оценки риска, но для сопоставимости оценок необходимо указывать использованную модель и алгоритм расчёта. Однако СКО неприменимо в порядковых шкалах, используемых при экспертном ранжировании событий.

Описанные выше меры неопределённости характеризуют разброс единичной оценки риска (ущерба). Но понятие неопределённости применимо и для характеристики совокупности событий в целом. Так, очевидно, что для равновероятных событий (источников риска) неопределённость максимальна в отношении выбора наиболее важного (наиболее опасного) события. Здесь мерой неопределённости может выступать энтропия

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i ,$$

принимая максимальное значение в случае равновероятности событий ( $p_i=1/n$ ) и равная нулю при наличии единственного события.

События могут быть ранжированы по степени опасности, то есть «измерены» в порядковой шкале. Необходимость такого упорядочения обусловлена тем, что опасность (возможный ущерб) не всегда может быть выражен количественно. Конечная цель подобных ранжирований направлена, как правило, на выявление «наиболее важного» события, в отношении которого необходимо провести дополнительные исследования, внедрить предупредительные меры и т.п. Качество или результат ранжирования также может характеризоваться в терминах неопределённости. Максимальная неопределённость ранжирования имеет место, когда все события имеют один ранг, минимальная – когда каждое событие характеризуется своей степенью опасности – событиям присвоены разные ранги. Множество возможных распределений событий по  $n$  рангам изоморфно множеству разбиений числа событий  $n$  на  $1, 2, \dots, n$  слагаемых. В таком случае в качестве меры неопределённости можно использовать нумерирующую функцию разбиений [7], равную нулю на разбиении  $n=n$  (все события имеют один ранг) и принимающую максимальное значение на разбиении  $n = 1+1+\dots+1$  (каждому событию присвоен свой ранг, отличный от прочих).

Предметом дальнейших обсуждений здесь может быть учёт распределения конкретных событий (например, с определённой вероятностью реализации) по конкретным рангам, а также введение такой характеристики как удалённость события во времени. Последняя косвенно отражает существенность отдалённых последствий исходного события, которые с течением времени могут тем или иным образом нивелироваться. В таком случае имеем векторную оценку события из трёх компонент: вероятность, ранг, момент наступления события. Такой подход представляется

полезным обобщением традиционного понимания риска как частоты реализации опасностей. При этом для временной характеристики – удалённости от исходного события, измеряемой в интервальной шкале, применимы обычные дисперсионные или энтропийные оценки неопределённости.

В отношении векторных оценок возникает вопрос о сравнительной важности компонент. Если компоненты не ранжированы (одинаково важны), то, очевидно, имеет место максимальная неопределённость в отношении важности оценок. Упорядоченность компонент по важности индуцирует, в свою очередь, аналогичную упорядоченность всей совокупности рассматриваемых событий – сначала по первой, наиболее важной компоненте, затем по второй и третьей. Степень неопределённости ранжирования событий по важности, полученного на основе векторных оценок, может быть выражена указанной выше нумерующей функцией или же векторной оценкой неопределённости, компоненты которой вычислены по соответствующим компонентам векторных оценок отдельных событий.

Описанные конструкции и виды неопределённости могут обобщаться в различных направлениях, обеспечивая многоаспектный анализ рисков и предоставляя возможность совместного рассмотрения количественных и качественных (экспертных) оценок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов РД 03-418-01. – Москва : Госгортехнадзор России, 2010. – 40 с.
2. Хенли, Э.Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Куямамото ; перевод с английского В. С. Сыромятников. – Москва : Машиностроение, 1984. – 528 с.
3. Колесников, Е.Ю. Способы количественной оценки неопределённости параметров техногенного риска / Е.Ю. Колесников // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 1. – С. 56.
4. ГОСТ 34100.3-2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 114 с.
5. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
6. Острейковский, В.А. Модели показателей риска в теории техногенной безопасности сложных систем / В.А. Острейковский, С.П. Саакян // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9. – С. 162-166.
7. Юферов, А.Г. О построении нумерующих функционалов на комбинаторных множествах / А.Г. Юферов // Кибернетика. – 1980. – № 5. – С. 28.

### **Estimation of Uncertainty of Technogenic Risk Estimates**

**A.G. Yuferov**

*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia  
e-mail: anatoliy.yuferov@mail.ru*

**Abstract** – A number of possible estimates of the uncertainty of technogenic risk are compared: the mean square deviation, the probabilistic quantile characteristic, and the entropy estimate of the uncertainty interval.

*Keywords:* technogenic risk, uncertainty assessment.