

*А.В. Антонов<sup>1</sup>, Г.А. Ершов<sup>2</sup>, О.И. Морозова<sup>1</sup>*

(<sup>1</sup>Обнинский институт атомной энергетики; <sup>2</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ"; e-mail: OIMorozova@yandex.ru)

## **ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ПРИЕМЛЕМОСТИ РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ**

*В статье показано, что действующие в России значения вероятностных показателей безопасности энергоблока атомной станции лежат в рамках общепринятых мировых подходов к анализу риска возникновения техногенных аварий при эксплуатации различных социально-значимых промышленных объектов.*

*Ключевые слова: энергоблок, безопасность, риск.*

*A.V. Antonov, G.E. Ershov, O.I. Morozova*

## **THE GENERAL CRITERIA OF RISK ACCEPTABILITY IN THE OPERATION OF NUCLEAR POWER PLANTS**

*In the article is depicted that the existing value of target probabilistic safety utilized for NPP safety level estimation in Russia is within a framework of generally worldwide-used methods of risk analysis of other socially significant industrial facilities.*

*Key words: nuclear power units, safety, risk.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 7 июля 2014 г.

### **Введение**

Вопросам анализа уровня безопасности **энергоблоков атомных станций (ЭБ АС)** посвящено большое количество исследований, позволяющих рассматривать ЭБ АС как сложные технические системы, на которые оказывают влияние разнообразные факторы природного и техногенного характеров [2-4, 8, 9]. Одним из наиболее эффективных методов анализа и обеспечения безопасности ЭБ АС является метод **вероятностного анализа безопасности (ВАБ)**. ВАБ представляет собой системный анализ уровня безопасности ЭБ АС, в процессе которого разрабатываются логико-вероятностные математические модели ЭБ АС, определяются значения **вероятностных показателей безопасности (ВПБ)** ЭБ АС, и результаты которого используются для количественных оценок уровня безопасности ЭБ АС и для выработки решений при проектировании и эксплуатации ЭБ АС [1, 9, 10].

Выполнение ВАБ позволяет оценивать безопасность ЭБ АС с позиций рисков радиационного воздействия на население и окружающую среду. Термин "риск" имеет одну из следующих трактовок:

- вероятность возникновения неблагоприятного события;
- ущерб, нанесенный возникновением неблагоприятного события и выраженный в натуральном эквиваленте;
- комплексная мера опасности, выраженная в условных единицах, то есть произведение вероятности возникновения неблагоприятного события (например, аварии на ЭБ АС, связанной с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду) на величину ущерба от этого события.

В области использования атомной энергии оценка приемлемости уровня безопасности ЭБ АС производится путем сравнения полученных по результатам ВАБ значений ВПБ ЭБ АС с установленными в [7] целевыми значениями ВПБ. В [7] приведены следующие целевые значения ВПБ:

- "В целях исключения необходимости эвакуации населения за пределами зоны планирования защитных мероприятий, устанавливаемой в соответствии с нормативными требованиями к размещению АС, следует стремиться к тому, чтобы оцененное значение вероятности установленного этими требованиями предельного аварийного выброса не превышало  $1E-7$  на реактор в год" (п. 1.2.17);

- "Следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе ВАБ значение суммарной вероятности тяжелых запроектных аварий не превышало  $1E-5$  на реактор в год" (п. 4.2.2).

Уровень безопасности ЭБ АС оценивается как приемлемый, если оцененные по результатам ВАБ значения ВПБ не превышают установленные целевые значения [9].

Однако ни в [7], ни в каких-либо других нормативно-технических документах России не приводится обоснование правомерности применяемых целевых значений ВПБ. Иными словами, имеет место ситуация, когда правомерность и обоснованность целевых значений ВПБ [7], используемых для количественных оценок уровня безопасности ЭБ АС, и, соответственно, рисков от эксплуатации ЭБ АС, фактически, принимается на "веру".

### **Классификация рисков при эксплуатации промышленных объектов**

Нормирование риска – это процесс установления *приемлемых уровней риска* для индивидуумов, социальных групп, общества и окружающей природной среды. Нормирование риска, наряду с идентификацией, оценкой и прогнозом, является элементом анализа риска и частью процесса управления рисками при эксплуатации ЭБ АС. В общем случае под приемлемым риском понимается риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений. Однако, так как в большинстве случаев при выборе приемлемого риска экономические соображения использовать затруднительно, чаще оперируют только социальными критериями [9, 10].

Риск от эксплуатации ЭБ АС как промышленного объекта является приемлемым, если его величина настолько незначительна, что ради выгоды, получаемой от эксплуатации данного техногенного объекта, общество готово пойти на этот риск. Объект, риск эксплуатации которого меньше приемлемого, можно считать безопасным [2, 4, 8, 9, 10].

Кроме приемлемого риска существует понятие *контролируемого риска*, при котором производственная деятельность допускается, однако объект не считается безопасным. Система управления рисками на объекте с контролируемым уровнем риска направлена на достижение и/или обеспечение приемлемого уровня риска [2, 8, 10].

## Величины рисков при эксплуатации промышленных объектов

При анализе риска, прежде всего, определяются опасности, которые необходимо исследовать, и, соответственно, устанавливаются меры этих опасностей [8, 10]. Для выбранной меры опасности оцениваются уровни приемлемого риска. При этом выбор приемлемого риска, как правило, является составной частью анализа риска, а не показателем, входящим в состав исходных данных, которые, в свою очередь, используются при анализе риска (к исходным данным относятся критерии, на основании которых в процессе анализа риска принимаются решения о допустимом (приемлемом) уровне риска) [2, 11]. Анализ [11] общественного мнения в ряде промышленно-развитых стран показал, что большинство респондентов-неспециалистов считают приемлемым уровень риска порядка  $1E-6$  и менее [2, 4, 9, 10].

На государственном уровне методология анализа и управления риском, основанная на *концепции приемлемого риска*, впервые была принята в Нидерландах в 1985 г. в качестве государственного закона [8, 10], согласно которому *вероятность смерти в течение года для индивидуума* от опасностей, связанных с техносферой, больше  $1E-6$  считается недопустимой (неприемлемой), меньше  $1E-8$  – пренебрежимой. Область приемлемого риска соответствует диапазону  $1E-6$  ...  $1E-8$ , исходя из экономических и социальных соображений [8, 10].

Принятие в Нидерландах области приемлемого риска в диапазоне  $1E-6$ ... $1E-8$  было обусловлено следующими умозаключениями. За основу был принят риск смерти индивидуума в возрасте 10-15 лет, который, согласно статистическим данным по возрастной смертности, составляет примерно  $1E-4$  в год и является минимальным на протяжении всей его жизни. Для сравнения необходимо отметить, что для человека максимальный риск смерти соответствует первому году его жизни и равен  $2E-2$  в год [8]. В Нидерландах, основываясь на этих данных, для предельно допустимого уровня индивидуального риска принято значение, составляющее 1 % от риска смерти в возрастном интервале от 10 до 15 лет, то есть предельно допустимый уровень индивидуального риска принят равным  $1E-6$  в год [8, 10].

Для проектирования новых промышленных объектов в Нидерландах на законодательном уровне установлен пренебрежимый уровень индивидуального риска ( $1E-8$  в год) и максимально допустимый уровень индивидуального риска ( $1E-6$  в год) [10]. Указанные значения приемлемого риска, полученные на основании самого известного критерия в одной из самых благополучных с точки зрения промышленного развития и культуры промышленной безопасности стран, используются в качестве ориентира. Критерии риска, принятые к использованию в практической деятельности в Голландии, представлены в табл. 1 [10]. В отличие от индивидуального [10], *социальный риск* даёт оценку воздействия на группы населения, проживающего вблизи промышленного объекта

[4, 9, 10]. В ряде других стран для индивидуального риска установлены бóльшие значения (см. табл. 2 [7]), чем в Нидерландах, тем не менее, уровень риска наступления смерти выше величины  $1E-4$  в год однозначно признается неприемлемым (чрезмерным).

Таблица 1

**Критерии риска, принятые в практической деятельности в Нидерландах**

Уровень риска в год (год ввода в действие)		Комментарии
Индивидуальный риск	$1E-6$ (1989)	Максимально допустимый уровень
	$1E-8$ (1989)	Пренебрежимый уровень
	от $1E-6$ до $1E-8$ (1989)	Требуется снижение уровня
Социальный риск	$1E-5$ (1989) – для > 10 смертей на событие	Максимально допустимый уровень
	$1E-7$ (1989) – для > 100 смертей на событие	
	$1E-7$ (1989) – для > 10 смертей на событие $1E-9$ (1989) – для > 100 смертей на событие	Пренебрежимый уровень

Во многих других экономически развитых странах был использован стандарт, введенный в Нидерландах, который применяется в практике лицензирования потенциально опасных промышленных объектов. Этот стандарт задает максимально приемлемые уровни индивидуального техногенного риска для населения, проживающего в регионе размещения этих объектов [8]. Например, комитет по здравоохранению и промышленной безопасности Великобритании в качестве нижней границы риска использует величину риска  $6E-6$  в год [1, 10]. Была разработана концепция ALARP (As Low As Considered Reasonably Practical) – как можно ниже по разумным соображениям практичности. Зона ALARP представляет собой интервал между "терпимым" риском  $1E-4$  в год и широко приемлемым риском  $1E-6$  в год.

Другими критериями выбора уровня приемлемого риска являются существующие уровни риска, с которыми общество, так или иначе, мирится (готово мириться). Если общество соглашается с существующим уровнем риска, то этот риск является приемлемым, по крайней мере, для рассматриваемого вида опасности (стоит отметить, что совершенно не очевидно, что для другого вида опасности общество согласится с таким же уровнем риска (вероятностью возникновения неблагоприятных событий)) [9, 10]. Критерии риска, принятые в практической деятельности в Великобритании и Австралии, представлены в табл. 2 [10].

**Критерии риска, принятые в практической деятельности  
Великобритании и Австралии**

Уровень риска в год (год ввода в действие)	Комментарии
<b>Великобритания</b>	
1E-4 (1976)	Максимально допустимая частота серьёзной аварии (событие в год) на промышленном объекте
1E-5 (1976)	Обеспокоенность (предупреждение об опасности) уровнем индивидуального риска (вероятности смерти в год)
< 1E-6 (1976)	Уровень индивидуального риска (вероятности смерти в год) считается приемлемым
$\leq$ 1E-7 (1981)	Остановка работ, связанных с индивидуальным уровнем риска (вероятности смерти в год), не рассматривается как обязательная
< 1E-6 (1983)	Уровень индивидуального риска приемлем
1E-3 (1983)	Уровень индивидуального риска неприемлем
от 1E-6 до 1E-3 (1983)	Рекомендуется анализ "затраты – выгоды"
< 1E-6 (1989)	Уровень индивидуального риска приемлем
от 0,3E-6 до 1E-6 (1989)	Уровень индивидуального риска из данного диапазона на территориях активного землепользования (местах проживания населения, коммерческой деятельности и т.д.) считается неприемлемым
<b>Австралия</b>	
<1E-6 (1990)	Уровень индивидуального риска приемлем.
<0,5E-6 (1990)	Приемлемый уровень индивидуального риска на территориях активного землепользования (местах проживания населения, коммерческой деятельности). Установлены дополнительные критерии на случай причинения ущерба здоровью, которые не приводят к смертельному исходу. Критерий для социального риска используется от случая к случаю

### **Подходы к выбору значений целевых показателей безопасности**

Из сказанного выше следует, что для выбора нормативных значений ВПБ существует ряд общепринятых подходов [9, 10]:

1. Назначение ВПБ на основе уровней, которые соответствуют статистическим данным об авариях в данной отрасли (табл. 3) и которые в настоящее время считаются приемлемыми. С социально-психологической точки зрения в расчёты обычно закладывают значения риска, которые на полпорядка или на порядок меньше достигнутого к настоящему времени уровня. В гражданской авиации при средней вероятности катастроф  $3E-5 \dots 5E-5$  на 100 тыс. часов полета назначают ВПБ для конструкции  $1E-5$  [10]. Однако при этом учитывают, что лишь примерно 10 % общего числа авиационных катастроф вызваны разрушением конструкции в воздухе [10].

2. Назначение ВПБ на основе уровня, существующего в смежных (в частности, конкурирующих) отраслях: обычно назначают показатели риска, примерно на порядок меньше, чем в конкурирующих отраслях [7, 10]. Необходимо отметить, что, по мнению некоторых учёных [3], занимающихся вопросами



обеспечения безопасности эксплуатации ЭБ АС, сопоставление статистических данных об авариях, произошедших на объектах атомной промышленности, и авариях, произошедших на объектах иных отраслей промышленности, является некорректным, так как атомная промышленность связана с принципиально иными социально-экономическими и биологическими последствиями аварий.

При назначении ВПБ на основе уровней, которые соответствуют статистическим данным об авариях в данной отрасли и в настоящее время считаются приемлемыми, и на основе уровней, существующих в смежных отраслях, возникает вопрос об истинной значимости столь малых вероятностей, как, например,  $1E-7$  в год [7] из расчёта на один ЭБ АС [10]. Отчасти эти вероятности обеспечены путем выбора расчётных нагрузок и воздействий (в виде назначенной обеспеченности), отчасти введением коэффициентов запаса по материалам. Для особо важных объектов высокий уровень безопасности получают в результате многократного резервирования (например, системы защиты ЭБ АС от плавления активной зоны и выброса радиоактивных веществ за пределы защитной оболочки реакторной установки) [10].

Как показывает статистика [9], большая часть аварий на строительных конструкциях происходит на стадии их возведения. Вероятность разрушения на стадии эксплуатации не превышает  $1E-4$ , а среднее число жертв при серьёзных авариях имеет порядок единицы и менее. Анализ [10] действующих в настоящее время норм в области проектирования зданий и сооружений показывает, что в действующих нормах заложены запасы надёжности, отвечающие годовому риску  $1E-5$  и менее. Здесь, как и в большинстве других отраслей, соблюдается (на интуитивном или эмпирическом уровнях) следующий принцип: должен быть обеспечен на порядок более высокий уровень безопасности, чем это следует из статистики аварий [9, 10].

Таблица 3

**Ретроспективные оценки частоты возникновения аварий на объектах различных отраслей промышленности [3]**

<b>Отрасль промышленности</b>	<b>Средняя частота возникновения аварий на опасных техногенных объектах</b>
Угольная промышленность	4E-2
Магистральный трубопроводный транспорт	9,1E-3
Горнорудная промышленность	1,03E-3
Хранение и переработка зерна	6,1E-4
Геологоразведка	5,5E-4
Добыча газа	3E-4
Химическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая промышленность	2,5E-4
Металлургические производства	2,15E-4
Подъемные сооружения	6,8E-5
Газоснабжение	6,7E-5
Котлы; сосуды, работающие под давлением	4,6E-5
Добыча нефти	4,3E-5

Из анализа зарубежных данных [3, 10] следует, что значения рисков возникновения неблагоприятных событий, которые воспринимаются большинством населения как приемлемые, лежат в области  $1E-5 \dots 1E-4$ . Верхняя граница отвечает риску, связанному с несчастными случаями в быту, нижняя – риску от поражения молнией. Соответственно, можно говорить о терпимом риске (порядка  $1E-4$ ) и о приемлемом риске (порядка  $1E-5$ ) [10]. Указанные значения могут изменяться в зависимости от экономических, социальных и демографических факторов [9].

### Выводы

Таким образом, относительно рисков при эксплуатации ЭБ АС и, в частности, целевых значений ВПБ, установленных в [7], можно утверждать, что:

- эксплуатация ЭБ АС связана с теми же вероятностями возникновения техногенных аварий, что и любые другие виды человеческой деятельности;
- целевые ВПБ, применяемые для обеспечения безопасности эксплуатации ЭБ АС в России [7], лежат в рамках общепринятых подходов к нормированию рисков от различных видов человеческой деятельности и не выходят за их рамки.

### Литература

1. *PRA Procedures Guide*, NUREG/CR-2300 // January, 1983. <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr2300/vol1>.
2. **Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н.** Общая теория рисков: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: изд. центр "Академия", 2008. 368 с.
3. **Гордон Б.Г.** Идеология безопасности. М.: Труды НТЦ ЯРБ, 2006. 236 с.
4. **Гордон Б.Г.** Эволюция безопасности атомных станций // Информационное агентство "ПРОАтом". <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3502>.
5. **Кузнецов В.М., Шингаркин М.А., Хвостова М.С.** Обеспечение радиационной безопасности населения, радиационно-экологический мониторинг гидросистем и территорий, находящихся в зоне воздействия ФГУП ПО "Маяк". М.: НИПКЦ Восход-А, 2013. 160 с.
6. **Нормы** радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2523-09 (Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. № 47).
7. **Общие** положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97). НП-001-97 (Утв. постановлением Госатомнадзора России от 14 ноября 1997 г. № 9).
8. **Основы** обеспечения экологической безопасности химических производств с использованием методов анализа риска. Риск: терминология, классификация, подходы к нормированию. Основные этапы анализа и оценки экологического риска на территориях, прилегающих к химическим предприятиям. [http://cis/download/lek\\_3.doc](http://cis/download/lek_3.doc).
9. **Острейковский В.А., Швыряев Ю.В.** Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 352 с.
10. **Технический** отчет "Исследование методологии применения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) в области магистрального нефтепроводного транспорта на основе анализа отечественного и мирового опыта. Разработка основополагающих нормативных и методических документов внедрения ВАБ для объектов магистральных нефтепроводов", Этап № 1. "Анализ основных тенденций развития и перспектив при обеспечении безопасности потенциально-опасных промышленных объектов". М.: ОАО ВНИИСТ, 2005. 164 с.