

## О ВЕРОЯТНОСТНЫХ ЦЕЛЯХ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ (о несоответствиях между ОПБ-88/97 и НП-032-01)

С.О. Волковицкий (НТЦ ЯРБ)

На протяжении многих лет усилиями большого количества специалистов в нашей стране создавалась система нормативных документов в области регулирования ядерной и радиационной безопасности атомных станций (АС) и других объектов использования атомной энергии. К настоящему времени эта система приобрела достаточно завершённый вид, по крайней мере, в отношении атомных станций. Вместе с тем, как всякий сложный организм, она не лишена недостатков и требует совершенствования, что отражается в открытых дискуссиях и публикациях (например, в [1]).

Автор статьи, участвуя в подготовке нормативных и методических документов в области вероятностного анализа безопасности (ВАБ) атомных станций, проанализировал поставленные в действующих нормативных документах вероятностные цели безопасности. Вниманию читателей предлагаются результаты анализа.

Формулировки вероятностных целей безопасности (их еще называют целевыми ориентирами) присутствуют в [2]. Проанализируем их.

Глава 1 “Основные положения” документа [2], раздел 1.2 “Основные критерии и принципы обеспечения безопасности”. Учитывая название раздела, можно заключить, что в пункте 1.2.17 содержится формулировка основной вероятностной цели безопасности АС: “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<sup>1</sup> значение вероятности установленного этими требованиями предельного аварийного выброса не превышало  $10^{-7}$  на реактор в год”.

Глава 4 “Основные принципы безопасности, реализуемые при проектировании атомных станций и их систем” документа [2], раздел 4.2 “Конструкция и характеристики активной зоны”. В подпункте 4.2.2 говорится: “Следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе вероятностного анализа безопасности значение суммарной вероятности тяжелых запроектных аварий не превышало  $10^{-5}$  на реактор в год”. Назвав это положение “вспомогательной вероятностной целью безопасности”, рассмотрим его.

В [2] содержится следующее определение: “62. Тяжелая запроектная авария – запроектная авария с повреждением твэлов выше максимального проектного предела, при которой может быть достигнут *предельно допустимый аварийный выброс* (выделено автором) радиоактивных веществ в окружающую среду”. Расшифровку термина “максимальный проектный предел” находим в [3] (приложение “Дополнительные требования по безопасности АС с наиболее распространенными в Российской Федерации типами РУ”). Так, для АС с РУ типа ВВЭР “максимальный проектный предел повреждения твэлов соответствует непревышению следующих предельных параметров<sup>2</sup>: температура оболочек твэлов – не более 1200 °С; локальная глубина окисления оболочек твэлов – не более 18% первоначальной толщины стенки; доля прореагировавшего циркония – не более 1% его массы в оболочках твэлов”. Не вдаваясь в дискуссию о техническом содержании процитированного, вспомогательную вероятностную цель безопасности можно переформулировать так: “Следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе ВАБ значение суммарной вероятности достижения или превышения максимального проектного предела повреждения твэлов не превышало  $10^{-5}$  на реактор в год”. Отсюда ясно, на расчет какой величины следует ориентировать ВАБ энергоблока АС первого уровня, оценивающий риск повреждения ядерного топлива. С этим можно было бы согласиться, однако предложенная размерность “на реактор в год” приводит к мысли об ограничении анализа рассмотрением ядерного топлива, находящегося только в реакторе. Подобная точка зрения в настоящее время считается устаревшей, т.е. в рамках

<sup>1</sup> Следовало бы добавить: “на основе вероятностного анализа безопасности”. (Здесь и далее примечания автора.)

<sup>2</sup> Точнее было бы: “предельных значений параметров”.

выполнения ВАБ требуется оценивать безопасность состояния ядерного топлива, независимо от характера и количества мест его размещения, включая, например, бассейн(ы) выдержки. Поэтому более предпочтительна следующая формулировка: “Следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе ВАБ значение суммарной вероятности достижения или превышения максимального проектного предела повреждения твэлов на площадке АС не превышало  $10^{-5}$  в год”. К причине ссылки именно на площадку АС мы вернемся ниже.

Обратимся к общей вероятностной цели безопасности. В приведенном выше определении “тяжелой запроектной аварии” присутствует термин “предельно допустимый аварийный выброс”, отличный от термина “предельный аварийный выброс” из пункта 1.2.17 [2]. Согласно отсылке пункта 1.2.17 [2], в [4] находим следующее определение: “Предельно допустимый аварийный выброс<sup>3</sup> – значения выброса основных дозообразующих радионуклидов в окружающую среду при запроектных авариях, при которых дозы облучения населения на границе зоны планирования защитных мероприятий и за ее пределами с вероятностью  $10^{-7}$  реактор/год<sup>4</sup> не должны превышать соответствующих значений, регламентированных в действующих нормах радиационной безопасности, требующих принятия решений о мерах защиты населения”. С учетом процитированного рассмотрим следующие обстоятельства.

**Первое обстоятельство.** Имеет место нестыковка пункта 1.2.17 [2] с формулировкой предельно допустимого аварийного выброса в [4]. При одной и той же вероятности ( $10^{-7}$ ) основная цель безопасности в [2] ориентирована на исключение необходимости эвакуации населения за пределами зоны планирования защитных мероприятий, в то время как предельно допустимый аварийный выброс – на принятие любых решений о мерах защиты населения (согласно [5], эвакуация представляет собой одну из наиболее радикальных мер защиты населения). Таким образом, остается неясным, на оценку вероятности каких последствий для населения должен быть нацелен вероятностный анализ безопасности энергоблока АС.

**Второе обстоятельство.** Сама формулировка понятия “предельно допустимый аварийный выброс” в [4] является недоразумением.

Во-первых, из нее можно сделать вывод, что в случае предельно допустимого аварийного выброса дозы облучения населения на границе зоны планирования защитных мероприятий и за ее пределами почти достоверно (с вероятностью  $0,9999999 = 1 - 10^{-7}$ ) должны превышать значения, требующие принятия решений о мерах защиты населения. По-видимому, было намерение сказать: “Предельно допустимый аварийный выброс – значения выброса основных дозообразующих радионуклидов в окружающую среду при запроектных авариях, при которых на границе зоны планирования защитных мероприятий и за ее пределами с вероятностью не более  $10^{-7}$  на реактор в год могут быть достигнуты критерии<sup>5</sup>, регламентированные действующими нормами радиационной безопасности, когда требуется принятие решений о мерах защиты населения”. При этом все равно остается неясным, о каких критериях идет речь: принятия неотложных решений в начальном периоде аварийной ситуации, принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов или о других.

Во-вторых, семантически выражение “предельно допустимый аварийный выброс” должно характеризовать некоторую определенную величину выброса, являющуюся границей между допустимыми аварийными выбросами и недопустимыми аварийными выбросами. По физической сущности аварийный выброс представляет собой возможный набор радиоактивных веществ в количественном диапазоне от нуля до полной массы содержимого активной зоны реактора (если рассматривать в качестве источника выброса только реактор). Отсюда с вероятностной точки зрения аварийный выброс – это

---

<sup>3</sup> То есть в [4] есть термин “предельно допустимый аварийный выброс”, а не “предельный аварийный выброс”, указанный в пункте 1.2.17 [2]. По-видимому, в последнем случае имеет место редакционная ошибка.

<sup>4</sup> Правильнее было бы сказать: “на реактор в год”.

<sup>5</sup> Речь должна идти не о дозах на границе зоны планирования защитных мероприятий и за ее пределами, а именно о критериях, каковыми являются предотвращаемые в результате применения защитных мер дозовые нагрузки (раздел 6 [5]).

непрерывная случайная величина в указанном диапазоне. Для таких величин, как известно, вероятность реализации любого конкретного значения (в том числе предельно допустимого аварийного выброса) равна нулю. В качестве формы закона распределения для непрерывных случайных величин обычно используется интегральная функция распределения вида:

$$F(x) = P(X < x),$$

где  $P(X < x)$  – вероятность события, что непрерывная случайная величина  $X$  примет значение, меньшее текущей переменной  $x$ .

В практике анализа риска, связанного с последствиями аварий на АС, применяется несколько отличный подход и рассматривается так называемая кривая риска, аналог которой (пограничная линия безопасности) в 60-е годы прошлого века был предложен Ф.Фармером [6]:

$$B(n) = P(\Pi > n),$$

где  $P(\Pi > n)$  – вероятность того, что случайное последствие  $\Pi$  по величине превзойдет значение  $n$ .

Поэтому именно в виде параметров кривой риска целесообразно формулировать вероятностные цели безопасности. По-существу, это имеет место в отношении вспомогательной вероятностной цели безопасности, где говорится о вероятности *достижения или превышения* максимального проектного предела повреждения твэлов, но не сделано в отношении общей вероятностной цели безопасности.

**Третье обстоятельство.** При казалось бы наличии цели безопасности (что, как показано выше, не так) в отношении людей (населения) отсутствует цель безопасности для АС как технического объекта. (Более подробную дискуссию на эту тему читатель может найти в [7].) Имеющаяся привязка формулировки предельно допустимого аварийного выброса к границе зоны планирования защитных мероприятий для населения слабо соотносится со свойствами безопасности объекта и, в частности, со свойствами системы локализации аварий. Перемещение границы зоны планирования защитных мероприятий в пределах до 25 км от границы площадки для АС и 5 км для атомной станции теплоснабжения (АСТ) (пункт 5.7 [2]) не исключает возможности достижения желаемого наперед результата с точки зрения безопасности населения. А еще проще изначально установить границу зоны планирования защитных мероприятий на предельном расстоянии и не заниматься оптимизацией экономической эффективности проекта АС с точки зрения затрат на обеспечение безопасности в противовес полноценному неограниченному использованию окружающей территории и сокращению расходования ресурсов на подготовку защитных мер в пределах указанной зоны.

**Четвертое обстоятельство.** Из размерности вероятностных целей безопасности в [2] следует, что эти цели предписаны каждому отдельному реактору АС. То есть в случае многоблочной АС неявно допускается возрастание риска, пропорциональное количеству реакторов. Подобный подход мог быть терпимым при малых масштабах атомной энергетики, но для “большой” атомной энергетики представляется неразумным: риск таких опасных последствий, как тяжелые аварии на АС, должен сдерживаться для всей популяции атомных станций. Это можно предупредить, ориентируя формулировки вероятностных целей безопасности на АС в целом, а не на отдельный реактор (энергоблок) АС.

**Пятое обстоятельство.** Как указывалось выше, в области ВАБ давно определено, что основной источник опасности – ядерное топливо (твэлы), независимо от его местонахождения на АС (в корпусе реактора, в бассейне выдержки и пр.). Поэтому признается необходимым оценивать вероятность повреждения именно ядерного топлива, а не активной зоны реактора. Подобную позицию имеет смысл отразить в нормативных документах.

Решить рассмотренную коллизию можно несколькими способами, но в любом случае целесообразно исключить из [2,4], понятие “предельно допустимый аварийный выброс”.

**Вариант 1** наиболее близкий к имеющимся формулировкам и смыслу целей безопасности. Пункт 1.2.17 в [2] изложить следующим образом:

“В целях практически достоверного исключения в случае радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории необходимости эвакуации населения

(Примечание 1) за пределами зоны планирования защитных мероприятий (Примечание 2) следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе ВАБ значение вероятности<sup>6</sup> необходимости принятия решения об эвакуации в сумме для площадки АС не превышало  $10^{-7}$  в расчете на год.

Примечание 1. Меры защиты населения на случай радиационной аварии, включая эвакуацию, устанавливаются нормами радиационной безопасности.

Примечание 2. Зона планирования защитных мероприятий определяется в соответствии с нормативными требованиями к размещению АС”.

**Вариант 2.** Не представляется очевидным, что общую вероятностную цель безопасности следует ориентировать именно на последствия, которые требуют эвакуации населения, хотя бы и за пределами зоны планирования защитных мероприятий. Может быть, более правильно ставить цель минимизации любого нарушения нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территории. Тогда общая вероятностная цель безопасности, оставаясь достаточно конкретной, может, например, определяться следующим образом:

“Следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе ВАБ значение вероятности необходимости принятия мер защиты населения, определяемых нормами радиационной безопасности, в начальном периоде аварийной ситуации за пределами зоны планирования защитных мероприятий для площадки АС было меньше  $10^{-7}$  в расчете на год”.

**Вариант 3.** Ввести понятие “неприемлемые последствия”, поставив им в соответствие показатели из норм радиационной безопасности, и нормировать вероятность их превышения. В случае принятия в качестве таких показателей, как и в варианте 2, критериев для принятия неотложных решений в начальном периоде аварийной ситуации (табл. 6.3 из [5]) в [2] можно было бы остановиться на следующих формулировках:

“Неприемлемые последствия – значения выброса основных дозообразующих радионуклидов в окружающую среду при запроектных авариях, при которых на границе зоны планирования защитных мероприятий и за ее пределами достигаются или превышаются значения, регламентированные в нормах радиационной безопасности и требующие принятия мер защиты населения в начальном периоде аварийной ситуации”.

Пункт 1.2.17. “В целях практически достоверного исключения в случае радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории необходимости принятия срочных мер защиты населения за пределами зоны планирования защитных мероприятий следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе ВАБ значение суммарной вероятности неприемлемых последствий для площадки АС не превышало  $10^{-7}$  в расчете на год”.

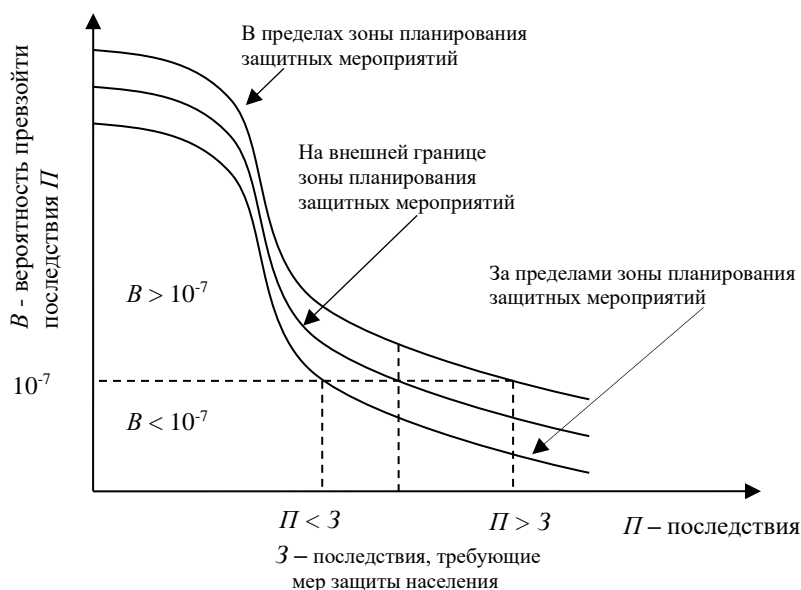
Преимущество варианта 3 – неизменность формулировки общей вероятностной цели безопасности (пункт 1.2.17) в случае корректировки определения “неприемлемых последствий”.

В каждом варианте 1, 2 или 3 речь идет о вероятности любого превышения критериев, установленных для тех или иных защитных мер, т.е. все варианты отражают смысл кривой риска.

На рисунке показаны варианты кривой риска в зависимости от положения наблюдателя по отношению к границе зоны планирования защитных мероприятий.

---

<sup>6</sup> Степень достоверности оценки (средняя, медианная или иная) должна устанавливаться, исходя из национальной политики по безопасности. В Швейцарии, например, декларирована 95%-я достоверность.



Кривая риска

Что касается ключевого понятия «зона планирования защитных мероприятий» (пункт 3.3.2 в [4]), то можно было бы установить, что граница этой зоны вокруг площадки АС не может превышать пределов, установленных федеральным законом или законом субъекта федерации, на территории которого расположена АС, и должна обосновываться в проекте АС на основе оптимизационного анализа. Такой подход решает несколько задач. Во-первых, отпадает необходимость устанавливать требования к зоне планирования защитных мероприятий в зависимости от типов АС, которых в перспективе может быть множество, и появляется возможность установить разумный баланс выгод и затрат, связанных с эксплуатацией АС и другими способами использования природных ресурсов (прежде всего земельных и водных). Так, при установлении предельного радиуса зоны планирования защитных мероприятий 25 км можно обосновать, что для обладающих повышенной безопасностью АСТ эта зона может быть ограничена, например, 5 км. Во-вторых, из предложенной формулировки следует, что решение вопроса о целях безопасности для АС, затрагивающего интересы всех граждан, должно выходить за рамки компетенции профессионального сообщества атомщиков. Через общественные слушания прошли Комиссия по ядерному регулированию США при подготовке [8] и Исполнительный комитет по здравоохранению и безопасности Великобритании при подготовке [9].

В настоящей статье внимание было сконцентрировано на выяснении существа имеющихся в нормативных документах формулировок вероятностных целей безопасности и на предложениях по устранению замеченных несоответствий. Такое уточнение, в частности, потребовалось для достижения однозначной трактовки всеми участниками выполнения ВАБ блоков АС и использования их результатов. Однако подобную постановку задачи можно назвать ограниченной, не исчерпывающей многих других аспектов темы вероятностных целей безопасности, требующих дополнительного обсуждения.

Рассмотренный вопрос довольно долго не был актуальным по ряду причин, в том числе из-за отсутствия необходимости и возможности использовать вероятностные цели безопасности в качестве реального показателя новых (т.е. созданных после введения в действие [2]) проектов АС, представляемых на рассмотрение органам государственного регулирования безопасности. Теперь ситуация изменилась. Во-первых, в связи с разработкой технических регламентов в области использования атомной энергии взамен ряда основополагающих ныне действующих документов по безопасности АС. Во-вторых, в связи с реальной перспективой разработки новых проектов и серийного сооружения блоков АС, для которых необходимо обоснование безопасности, в том числе с использованием

## Статьи

анализа риска, что, в свою очередь, потребует своих целей или критериев. Наконец, в-третьих, в связи с реализацией совместной многонациональной программы оценки перспективных проектов АС, в которой участвуют органы государственного регулирования безопасности ряда стран.

В заключение хочу выразить признательность коллегам, принявшим участие в дискуссиях по затронутому вопросу, прежде всего профессору Б.Г. Гордону, кандидатам технических наук А.М. Букринскому, В.П. Слуцкеру, А.В. Любарскому, М.Ю. Ланкину.

### **Литература**

1. Гордон Б.Г. Об одном аспекте технического регулирования радиационной безопасности. АНРИ № 4 (47), 2006.
2. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97) НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97).
3. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций (ПБЯ РУ АС-89) ПНАЭ Г-1-024-90.
4. Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности НП-032-01.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1. 758-99. Минздрав России. 1999.
6. Farmer F.R. Siting Criteria – A New Approach: Containment and Siting of Nuclear Power Reactors. SM-89/34. IAEA, Vienna, 1967.
7. Гордон Б.Г. Идеология безопасности. Труды НТЦ ЯРБ. М.: 2006.
8. Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants; Policy Statement United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1986, 10 CFR. Part 50, Federal register. Rules and Regulations. Part III. (Federal Register. Rules and Regulations. Vol. 51, No 149, Monday, August 4, 1986). (Комиссия по ядерному регулированию США: Цели безопасности при эксплуатации атомных электростанций. Заявление о политике. Перевод на русский язык опубликован: Госатомэнергонадзор СССР. Информационный бюллетень №1(8), 1989).
9. Толерантность риска от атомных электростанций. Исполнительный комитет по здравоохранению и безопасности Великобритании (HSE). Перевод на русский язык: НТЦ ЯРБ, 1999.