

СТАТЬИ

УДК 621.039.58

**ДЕТЕРМИНИСТСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И ВЕРОЯТНОСТНОЕ
ОРИЕНТИРОВАНИЕ**

Букринский А.М., заслуженный энергетик России

В условиях бурного развития и расширяющегося применения вероятностных методов анализа безопасности рассмотрено соотношение вероятностных и детерминистских подходов к нормированию безопасности атомных станций, их преимущества и недостатки, сделан вывод о необходимости сохранения в будущем детерминистского нормирования с поддержкой его вероятностными анализами.

Ключевые слова: детерминизм, вероятность, вероятностный анализ, безопасность.

**DETERMINISTIC RULEMAKING AND PROBABILISTIC
ORIENTATION**

Bukrinskij A.M., Honored power worker of Russia

In the conditions of rapid development and extending application of probabilistic methods of the analysis of safety the parity of probabilistic and deterministic approaches to safety nuclear stations rulemaking is considered, their advantages and lacks and the conclusion is drawn on necessity of preservation for the future deterministic rulemaking with support its by probabilistic analyses.

Keywords: determinism, probability, probabilistic analysis, safety.

За последние несколько десятилетий произошло серьезное развитие вероятностных методов анализа безопасности атомных станций и других объектов использования атомной энергии. После чернобыльской аварии требование о необходимости выполнения таких анализов для обоснования безопасности АС вошло даже в основной нормативный документ регулирующего органа России для АС ОПБ-88/97 [1]. Многие страны по примеру регулирующего органа США NRC внедряют вероятностные подходы в свою регулирующую практику. В этих условиях возникает соблазн перехода от детерминистского нормирования безопасности, каким оно было всегда и остается в настоящее время, к нормированию и регулированию безопасности на основе вероятностных подходов. Учитывая предстоящее обновление ОПБ-88/97 [1], самое время более детально разобраться в этом вопросе.

**Достоинства и ограничения
вероятностных методов**

Новый подход к обоснованиям безопасности на основе вероятностного анализа начал развиваться после того, как в 1975 г. в США впервые была

завершена разработка анализа риска для энергетического реактора, известная как отчет WASH-1400 [2]. С тех пор вероятностные подходы стали внедряться в регулирующую практику, особенно после тяжелых аварий на АЭС Три Майл Айленд в США в 1979 г. и на Чернобыльской АЭС в СССР в 1986 г. Так, в 1985 г. NRC издает заявление о политике в отношении тяжелых аварий на реакторах будущего и существующих станциях [3], в 1986 г. – заявление о политике в отношении целей безопасности для эксплуатируемых атомных электростанций [4], а в 1993 г. – заявление о политике по улучшению технологических регламентов АЭС [5]. Во всех этих заявлениях содержатся положения о необходимости применения вероятностных анализов безопасности (далее – ВАБ). Наиболее важное заявление о политике NRC по применению вероятностных методов анализа безопасности было издано в 1995 г. [6]. В этом заявлении четко выражено намерение NRC применять вероятностные методы во всех сферах регулирующей деятельности и расширять их применение по мере совершенствования технологии.

Достаточно подробно ход развития и применения вероятностных методов в регулирующей в

регулирующей деятельности NRC после принятия упомянутого заявления о политике [6] был представлен в статье автора [7].

ВАБ позволил более детально рассматривать нарушения нормальной эксплуатации АС, включая аварии, и количественно определять вклад каждого элемента АС или действия персонала в риск тяжелой аварии. Анализ большого количества аварийных последовательностей позволил выявить в них доминанты, т.е. аварийные последовательности, вносящие наибольший вклад в риск тяжелой аварии. В результате были определены необходимые технические меры для выравнивания этих вкладов, т.е. для обеспечения сбалансированности проекта станции. Этот подход соответствует известному в технике подходу к обеспечению равной надежности технических устройств.

Применение методов ВАБ при модернизации и разработке новых российских АС позволило более чем на два порядка снизить риск тяжелой аварии и почти добиться выполнения соответствующего целевого ориентира, установленного в ОПБ-88/97 [1].

Вместе с тем, ВАБ имеют серьезные ограничения. Они подробно рассмотрены в докладе Международной консультативной группы по ядерной безопасности INSAG-6 [8].

В этом докладе указаны следующие источники ограничений, приводящих к неточности или неопределенности конечного результата:

- зависимость от проекта;
- неопределенность данных и моделей;
- трудности в трактовке некоторых явлений.

Зависимость точности ВАБ от проекта обусловлена, по мнению группы INSAG, тем, как эшелоны защиты влияют на возможности получения данных по надежности входящих в неё компонентов. Там, где число независимых эшелонов большое, эти данные можно брать из прежнего опыта, поскольку они являются достаточно умеренными и наблюдаемыми на практике. Там же, где число эшелонов меньше или они не являются полностью независимыми, требования по надежности жестче и необходимые данные неоткуда взять. В этом случае использование данных из прежнего опыта вносит большую неопределенность.

Отказы по общей причине и взаимодействие систем также играют большую роль. Если системы и каналы в проекте хорошо разделены, то снижается возможность отказов по общей причине или их взаимодействие, что, в свою очередь, облегчает моделирование. Однако если этого в проекте нет,

то возникают большие трудности из-за отказов по общей причине и взаимодействия сложных систем.

Влияние проекта на точность ВАБ также проявляется через конкретные решения вопросов взаимодействия системы «человек-машина», так как моделирование работы оператора и определение количественных показателей его надежности является самым трудным делом в ВАБ.

Многие неопределенности данных, используемых в ВАБ, могут быть оценены. Однако, когда после возникновения отказа на станции предпринимаются меры, чтобы исключить его повторение, то это уже трудно учесть.

При моделировании аварийных последовательностей бывает трудно правильно учесть некоторые явления, такие как развитие аварии вплоть до плавления активной зоны, поведение человека, влияние низких уровней радиации на здоровье человека, что также вносит вклад в неопределенность.

В INSAG-6 [8] неопределенности по указанным причинам оценены для ВАБ уровня 1 в один порядок. Для ВАБ уровня 2 неопределенность возрастает еще на один или более порядков из-за трудностей описания многих явлений в защитной оболочке и механизмов её повреждения при тяжелых авариях. Для ВАБ уровня 3 неопределенность может возрасти еще больше из-за необходимости учета дисперсии в атмосфере и влияния низких уровней радиации на большие массы населения.

Трудность моделирования в ВАБ поведения человека уже отмечалась. В INSAG-6 обращается внимание на то, что если проект автоматизирован и в нем хорошо решен человеко-машинный интерфейс, то это снижает неопределенность, связанную с моделированием действий человека. Однако по мере совершенствования технологии станции и снижения «веса» человеческих ошибок в абсолютном выражении их вклад в риск остается значительным. При этом отмечается, что наиболее трудно оценить вероятность ошибки выполнения оператором предусмотренного действия. Здесь причиной могут быть нечеткость инструкции, дезориентирующее показание прибора или просто ошибка оператора. Поскольку таких случаев может быть много, то учесть их правильно чрезвычайно трудно. Большую помощь в этом могут оказать исследования поведения человека на тренажерах. Однако и здесь имеется серьезный изъян, а именно – отсутствие стресса, который всегда присутствует при реальном протекании аварии.

Хотя после издания доклада INSAG-6 [8] прошло двадцать лет, указанные в нем ограничения

применения вероятностных методов анализа безопасности АС сохраняют свою актуальность.

Детерминизм и вероятность

Как отмечено в одном из наиболее популярных учебников по теории вероятности [9], в природе нет ни одного явления, в котором бы не присутствовали в той или иной мере элементы случайности. Тем не менее, в большинстве практических задач этими случайными элементами можно пренебречь, рассматривая вместо реального явления его идеализированную модель, предполагая, что явление протекает вполне определенным образом. При этом из бесчисленного множества факторов, влияющих на явление, выделяются самые главные, основные, решающие, а влиянием остальных, второстепенных факторов, просто пренебрегают. Такая схема изучения явлений называется «детерминистской» и используется в большинстве технических наук и их практических приложениях.

Именно этот подход сформировался с самого начала использования технических приложений атомной энергии, в том числе при проектировании и обосновании безопасности атомных станций.

Учитывая идеализированность рассматриваемых моделей, в расчеты закладывали консерватизм и так называемые «запасы безопасности». Учет консерватизма и запасов безопасности базировался на практическом опыте и результатах экспериментальных исследований. На этой основе разрабатывались соответствующие нормативные документы, регламентирующие проектирование атомных станций и их расчетное обоснование. Именно таким является основной нормативный документ по безопасности АС России ОПБ-88/97 [1].

Классический пример детерминистского подхода к нормированию безопасности АС – известная концепция глубокоэшелонированной защиты, основа нормирования безопасности использования атомной энергии во всех странах мира. Она дополняется и реализуется с помощью таких детерминистских принципов, как принцип единичного отказа, защита от отказов по общим причинам, резервирование (избыточность), разнообразность, независимость, принцип безопасного отказа и т.п.

Как отмечалось выше, применение ВАБ позволило глубже разобраться в переходных и аварийных процессах при нарушениях нормальной эксплуатации АС. Введение в ОПБ-88/97 [1] вероятностных целевых ориентиров, а именно: 10^{-5} – для вероятно-

сти тяжелой аварии и 10^{-7} – для вероятности аварийного выброса радиоактивных веществ, требующего принятия защитных мер за пределами зоны планирования защитных мероприятий, для одного реактора за время один год стимулировало эксплуатирующие организации и разработчиков проектов к серьезной модернизации действующих станций и применению прогрессивных технических решений на новых станциях.

Как показано в обзоре американской практики [7], вероятностные методы широко внедряются и в другие сферы регулирующей деятельности. Так может быть следует переходить к этим методам и в сфере нормативного регулирования, заменив детерминистское нормирование вероятностным нормированием?

Следует отметить, что даже в США вскоре после принятия заявления о политике по применению вероятностных методов анализа безопасности возникла дискуссия о том, какие подходы – детерминистские или вероятностные, должны быть основными. Об этом можно судить по документу NRC [10], в котором подводятся итоги данной дискуссии. Как подчеркнуто в заявлении о политике по применению вероятностных методов анализа безопасности, приоритет должен оставаться за детерминистскими методами.

Почему необходимо сохранять детерминистское нормирование, если природа всех явлений вероятностная? Чем отличается нормирование, когда основным является детерминизм, а вероятностные подходы его дополняют и усиливают, от того, если бы было наоборот?

В первом случае вероятностные подходы реализует подготовленная группа специалистов, хорошо владеющая такими методами, знающая их слабые места, умеющая оценивать и взвешивать неопределенности. Массовый пользователь ориентируется на простые детерминистские постулаты и использует поддержку указанной группы. Сами же детерминистские постулаты, кроме опыта и экспериментальных исследований, теперь выводятся с учетом вероятностных анализов, выполняемых специализированными командами. Получается надежный и взвешенный подход.

Если же вероятностные подходы сделать основными, то это значит дать их в пользование массовому потребителю. Учитывая сложность технологии вероятностных анализов и многие подводные камни, которые упоминались выше, можно получить обратный эффект – как в известной поговорке: «Теоретически она лошадь, а практически падает».

В результате вместо повышения безопасности можно получить её снижение.

Таким образом, основным должно оставаться детерминистское нормирование, а вероятностные подходы должны его подкреплять как на стадии разработки нормативов, так и на стадии их применения путем введения целевых ориентиров и других показателей во все сферы деятельности, начиная с проектирования и заканчивая инспекторскими проверками.

Заключение

Детерминистское нормирование, подкрепленное вероятностным ориентированием, основанное на опыте, экспериментальных исследованиях и вероятностных анализах, еще долго должно сохранять свою актуальность при регулировании безопасности использования атомной энергии, представляя собой оптимальную комбинацию детерминистских и вероятностных подходов.

Литература

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций», ОПБ-88/97. М.: Госатомнадзор России, 1997.
2. US Nuclear Regulatory Commission, «Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants», WASH-1400 (NUREG-75/014), October 1975.
3. US Nuclear Regulatory Commission, «Policy Statement on Severe Reactor Accident Regarding Future Designs and Existing Plants», Federal Register, Vol.50, Number 32138, August 8, 1985.
4. US Nuclear Regulatory Commission, «Policy Statement on Safety Goals for the Operation of Nuclear Power Plants», Federal Register, Vol. 51, Number 30028, August 21, 1986.
5. US Nuclear Regulatory Commission, «Final Policy Statement on Technical Specifications Improvement for Nuclear Power Reactors», Federal Register, Vol. 58, Number 39132, July 22, 1993.
6. US Nuclear Regulatory Commission, «Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy Statement», Federal Register, Vol. 60, Number 42622, August 16, 1995.
7. Букринский А.М. Совершенствование регулирующей деятельности NRC на основе подходов, ориентированных на информацию о риске и конечный результат. «Ядерная и радиационная безопасность», № 3 (53), 2009.
8. International Atomic Energy Agency. Probabilistic Safety Assessment. Safety Series No 75-INSAG-6. Vienna, 1992.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., М.: Высш. шк., 2000.
10. US Nuclear Regulatory Commission, Advisory Committee on Reactor Safeguards, The Role of Defense in depth in a Risk-informed Regulatory System, ML091280427, Washington, May 19, 1999.

