

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ NRC НА ОСНОВЕ ПОДХОДОВ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ИНФОРМАЦИЮ О РИСКЕ И КОНЕЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

Букринский А.М., заслуженный энергетик России (НТЦ ЯРБ)

В странах, рано ставших на путь использования атомной энергии в мирных целях, в том числе в США, требования по ядерной и радиационной безопасности формировались на основе детерминистического подхода, опирались на опыт, расчетные и экспериментальные исследования и суждения квалифицированных экспертов. В основе этого подхода лежит концепция глубокоэшелонированной защиты, обеспечивающая ограничение последствий проектных аварий допустимыми пределами и снижение таких последствий при запроектных авариях. Для анализа проектных аварий постулируется определенный набор исходных событий, а анализ проводится с учетом принципа единичного отказа. Ограничение последствий при проектных авариях обеспечивается системами безопасности, проектирование которых осуществляется с соблюдением целого ряда детерминистически установленных принципов, таких как избыточность, независимость, разнообразие и др.

Этот подход играет определяющую роль и в настоящее время. Однако после того как в 1975 г. в США впервые была завершена разработка анализа риска для энергетического реактора, известная как отчет WASH-1400 [1], начал формироваться новый подход на основе вероятностного анализа, получившего в документации NRC наименование Probabilistic Risk Assessment (PRA), а в России – вероятностный анализ безопасности (ВАБ). Здесь исходные события не постулируются, а берутся, исходя из их вероятности, превышающей определенный порог значимости. Рассматриваются все возможные пути развития аварий с учетом надежности всех затронутых систем и элементов и определяются в качестве меры риска суммарная частота таких последствий, как повреждение активной зоны, превышающее допустимые пределы, и частота раннего выброса радиоактивных веществ за пределы защитной оболочки. В терминологии NRC это Core Damage Frequency (CDF) и Large Early Release Frequency (LERF).

Следует отметить, что в основе концепции глубокоэшелонированной защиты лежит понимание вероятностной природы всех событий – как исходных, так и отказов систем и элементов. Поэтому предусматриваемая в этой концепции многобарьерность и другие принципы направлены на снижение вероятности неприемлемых последствий. В ВАБ же все вероятностные показатели учитываются непосредственно в количественном виде, что позволяет количественно оценить вклад в безопасность каждого элемента.

По мере совершенствования технологии ВАБ, особенно после тяжелых аварий на АЭС Три Майл Айленд (США) и в Чернобыле (СССР), эта технология вошла в нормативные требования всех стран, развивающих атомную энергетику. Однако для большинства стран эти требования, в основном, относятся к анализу запроектных аварий, обеспечению сбалансированности проекта и оценке достижения вероятностных целей безопасности или целевых ориентиров. В США же после 1995 г., когда появилось Заявление о политике NRC в области PRA, началось широкое внедрение и применение этой технологии во всех сферах регулирующей деятельности.

Использование методов PRA в деятельности по ядерному регулированию. Заявление NRC о политике

Заявление NRC о политике по использованию методов вероятностного анализа риска для регулирующей деятельности было издано в августе 1995 г. [2]. Однако еще до его издания, по мере совершенствования технологии PRA расширялось применение этих методов для решения различных вопросов регулирования безопасности. Так, положение о необходимости оценки связанного с модификацией изменения риска для населения было включено в требования параграфа 50.109 CFR (Свод положений по федеральному регулированию), посвященного правилам реконструкции. Соответствующие положения включены NRC в Заявления о политике в отношении:

- целей безопасности при эксплуатации АЭС (1986 г.);
- тяжелых запроектных аварий на АЭС (1985 г.);
- улучшения технологических регламентов АЭС (1993 г.), а также в решение некоторых других вопросов.

Заявление о политике NRC в области PRA дало толчок широкому применению методов вероятностного анализа риска практически во всех сферах регулирующей деятельности. Оно предписывает использовать методы PRA в той мере, в какой это позволяет достигнутый уровень их технологии, и таким образом, чтобы дополнить действующий традиционный детерминистический подход и поддержать концепцию глубокоэшелонированной защиты. С помощью методов PRA должны быть решены три задачи:

- улучшены процедуры принятия решений;
- повышена эффективность использования ресурсов NRC;
- ослаблены необоснованные ограничения для лицензиатов.

Кроме того, методы PRA и связанные с ними анализы, такие как анализ чувствительности, анализ неопределенности и анализ важности мероприятий, должны использоваться в регулирующей деятельности там, где практически в рамках достигнутого уровня технологии этих методов можно снизить избыточный консерватизм, связанный с действующими регулирующими требованиями, лицензионными обязательствами и практикой персонала NRC. Методы PRA следует использовать для поддержки дополнительных регулирующих требований там, где это необходимо, для чего нужно разработать соответствующую процедуру. Оценки PRA должны быть настолько реалистичны, насколько это возможно.

В процессе реализации установок рассматриваемого Заявления о политике NRC в области PRA, параллельно с внедрением в практику регулирования методов PRA, внедрялся еще один подход, ориентированный на конечный результат (Performance-Based Approach). Этот подход позволяет также ослабить давление детальных требований на лицензиата и сэкономить ресурсы регулятора. В подходе задаются требования только к конечному результату какой-либо деятельности лицензиата или к функционированию, или состоянию конструкций, систем и компонентов (SSC). Он является альтернативой подходу, именуемому в документации NRC предписывающим (prescriptive)¹, при котором регламентируются все детали того, как может быть достигнут этот конечный результат. Таким считается традиционный детерминистический подход к регулированию, устанавливающий требования к инженерным запасам и к обеспечению качества проекта,

¹ В российской практике термин «предписывающий подход» имеет несколько иной оттенок и означает, что большая часть требований носит обязательный, а не рекомендательный характер.

изготовления, строительства и эксплуатации. Развитие методов ВАБ дает возможность обоснованно применять подход, ориентированный на конечный результат, не устанавливая детальных предписаний. При этом крайне важно установление надежных критериев достижения конечного результата и наличие достаточного запаса безопасности на случай невыполнения этих критериев.

Белая книга о подходах, ориентированных на информацию о риске и на конечный результат

В 1998 г. NRC была разработана, а в марте 1999 г. утверждена Комиссионерами с небольшими поправками белая книга о подходах к регулированию безопасности, ориентированных на информацию о риске и на конечный результат [3]. В этой книге рассмотрены следующие вопросы:

- риск и его оценка (Risk and Risk Assessment);
- детерминистический и вероятностный анализы (Deterministic and Probabilistic Analyses);
- видение на основе риска (Risk Insights);
- подход, основанный на риске (Risk-Based Approach);
- подход, ориентированный на информацию о риске (Risk-Informed Approach);
- подход, ориентированный на информацию о риске, и глубоководно-ориентированная защита (Risk-Informed Approach and Defense-in-Depth);
- подход, ориентированный на конечный результат (Performance-Based Approach);
- подход, ориентированный на информацию о риске и на конечный результат (Risk-Informed, Performance-Based Approach).

По всем указанным вопросам даны детальные определения и ожидания Комиссии по применению описанных подходов в практике регулирующей деятельности NRC.

Интересно отметить, что в этой белой книге NRC увязывает понятие риска с так называемой «триадой риска». Это три следующих вопроса, раскрывающих, что такое риск:

- Что плохого может случиться?
- Какова вероятность этого?
- Каковы будут последствия?

На первый вопрос отвечает один или несколько сценариев, начиная от исходных событий и заканчивая интересующими нас конечными состояниями. На второй вопрос отвечают вычисленные значения вероятности или частоты конечных состояний и неопределенности их оценки. На третий вопрос отвечает определение радиационных последствий для конечных состояний каждого сценария.

Оценка риска сводится к получению ответов на эти три вопроса с учетом чувствительности, зоны значимости, взаимодействия систем и неопределенностей, что позволяет установить доминантные сценарии.

Традиционный детерминистический подход оперирует только двумя вопросами из приведенной выше тройки – первым и последним. Кроме того, этот подход не дает общей, интегральной оценки влияния всех исходных событий на безопасность. Таким образом, внедрение количественного анализа риска во все сферы регулирующей деятельности позволяет существенно повысить безопасность за счет объективного взвешивания влияния на нее каждого элемента глубоководно-ориентированной защиты и существенно сэкономить ресурсы, направляя их на наиболее важные для безопасности области.

Под «видением на основе риска» NRC понимает результаты, полученные из анализа риска. Так, для анализов риска на АЭС – это доминантные сценарии аварий и суммарная частота повреждения активной зоны CDF и частота раннего выброса LERF. Для других приложений могут быть получены другие результаты. Во всех случаях «видение на основе риска» подтвердило свою высокую эффективность как важнейшего дополнения традиционного детерминистического подхода.

Подход, основанный на риске, подразумевает решение двух основных вопросов – разработку регулирующих требований и контроль за их исполнением исключительно на основе анализов риска. Однако для этого необходимо было бы иметь больше уверенности в результатах PRA, чем имеется в настоящее время из-за неопределенностей и неполноты результатов. Поэтому Комиссия по ядерному регулированию США не поддерживает пока такой подход.

Подход, ориентированный на информацию о риске, или сокращенно риск-ориентированный подход, представляет собой философию, согласно которой видение на основе риска сочетается с другими факторами по установлению регулирующих требований, которые лучше фокусируют внимание лицензиата и регулятора на проектных и эксплуатационных проблемах в соответствии с их значимостью для безопасности и здоровья людей. При этом эффективность детерминистического подхода повышается в следующем:

а) появляется возможность рассмотрения более широкого ряда опасностей;

б) обеспечиваются логические средства для приоритизации этих опасностей в соответствии с их значимостью для риска, опытом эксплуатации и инженерными соображениями;

в) облегчается рассмотрение более широкого ряда средств защиты от этих опасностей;

г) появляется возможность выявления и количественного определения источников неопределенностей анализов (хотя такие анализы не всегда отражают все важные источники неопределенностей);

д) повышается обоснованность принятия решений за счет появления возможности тестировать чувствительность результатов к ключевым предположениям.

Как уже отмечалось выше, на основе видения риска можно снизить избыточный консерватизм детерминистического подхода или, наоборот, выявить области, где такой консерватизм недостаточен, и принять дополнительные регулирующие требования. Вместе с тем, концепция глубокоэшелонированной защиты была и будет оставаться фундаментальным принципом регулирующей практики, особенно для ядерных установок.

Содержание подхода, ориентированного на конечный результат, уже пояснялось выше. Здесь можно дополнительно отметить, что такой подход включает следующие атрибуты:

а) измеряемые (или рассчитываемые) параметры (т.е. необходимые физические параметры, непосредственно измеряемые или связанные с ними параметры, с помощью которых интересующие параметры могут быть вычислены) для отслеживания результатов работы установки и лицензиата;

б) объективные критерии для оценки конечного результата, устанавливаемые на основе видения риска, детерминистических анализов и опыта;

в) гибкость, предоставляемая лицензиату в том, как обеспечить выполнение установленных критериев способами, поощряющими и воздающими должное улучшению результатов;

г) положение, при котором невыполнение установленных критериев не ведет немедленно к проблемам безопасности.

Указанные измеряемые (или рассчитываемые) параметры могут быть включены в регулирующие нормативные документы, в условия действия лицензий или в руководства, принятые для исполнения лицензиатом. Руководство NRC по применению такого подхода представлено в [4].

Смешанный подход, ориентированный на информацию о риске и на конечный результат, принят NRC в качестве основного для широкого внедрения в регулиющую практику в последнем обновлении планов реализации новых подходов [5].

Смешанный подход объединяет преимущества обоих составляющих его подходов, описанных выше, фокусируя внимание на наиболее важной деятельности и устанавливая объективные критерии её конечных результатов как основы для принятия регулирующих решений. Однако не все аспекты регулируемой деятельности могут и должны контролироваться с помощью этого подхода. Так, например, если не обеспечено выполнение установленных критериев, то инспекторам регулирующего органа необходимо сосредоточить внимание на используемых лицензиатом методах достижения этих критериев для выявления коренных причин неуспеха и исключения их в будущем.

Планы NRC по развитию и внедрению новых подходов

Первыми планами по разработке и внедрению вероятностных методов в регулиющую деятельность NRC были планы по внедрению PRA. Они разрабатывались с 1994 по 1999 гг. с ежеквартальным обновлением и анализом текущего состояния. В дальнейшем они были заменены планами внедрения регулирования на основе информации о риске. Первый такой план был разработан и принят NRC в 2000 г. [6]. В нем более четко описывались все виды деятельности NRC по внедрению риск-ориентированного подхода, а изменившееся название более точно отражало его содержание. Периодичность обновления таких планов была увеличена до полугодовой.

Планами охватывались три области регулирующей деятельности NRC: безопасность ядерных реакторов, безопасность ядерных материалов и безопасность радиоактивных отходов. Хотя в названии планов фигурировал только риск-ориентированный подход, в них затрагивался также подход, ориентированный на конечный результат. Поэтому при выпуске последнего обновленного плана [5] его название опять было изменено для более точного отражения его содержания. Теперь в приложении к документу [5] наименование плана записано как «Risk-Informed and Performance-Based Plan» (План риск-ориентированного и основанно-го на конечном результате регулирования).

Для каждой области регулирования этот план включает большое количество конкретных тем по разработке, внедрению и последующей оценке элементов обновленной структуры регулирования. Они могут относиться к любым сферам регулирующей деятельности: лицензированию, надзору или разработке новых или альтернативных регулирующих требований. В плане эти конкретные темы названы «инициативами» (initiatives). Исходная база данных таких инициатив приведена в приложении к плану, представленному в документе [5]. Здесь для области ядерных реакторов содержится 79 тем и указано их состояние. Разработка ряда из них уже завершена, другие находятся в процессе разработки. На рис. 1 представлена приведенная в упомянутом плане общая схема его реализации.

Периодичность обновления нового плана и оценка достигнутых результатов осталась полугодовой. Однако его представление в дальнейшем решено было ограничить только веб-сайтом NRC.

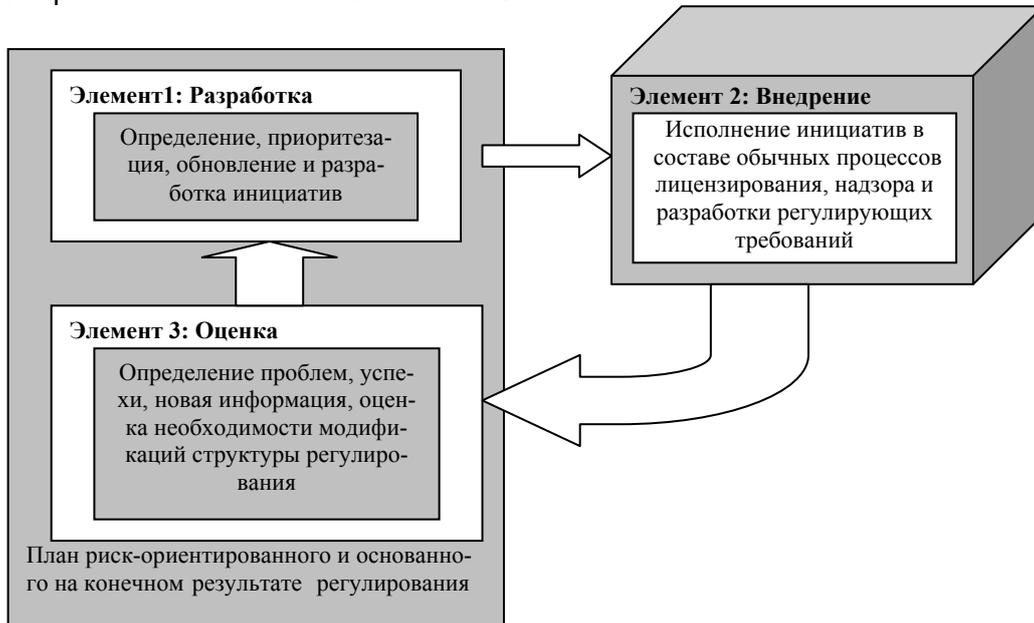


Рис. 1. Процесс разработки, внедрения и оценки риск-ориентированной и основанной на конечных результатах структуры регулирования

Некоторые результаты реализации нового подхода к регулированию безопасности NRC

Некоторые области внедрения регулирования, основанного на видении риска, уже были отмечены выше. Еще одно важнейшее направление внедрения смешанного подхода, а именно, внедрение его в процесс реакторного надзора, было достаточно детально описано в статьях автора [7] и [8]. Большой интерес представляет альтернативный подход к категоризации конструкций, систем и компонентов на основе их вклада в риск тяжелой аварии, представленный в § 50.69 части 50 свода положений по федеральному регулированию (CFR) [9]. Детальное руководство по процессу категоризации разработано Институтом по ядерной энергии США (NEI) [10]. Кроме того, указания по его применению даны в Руководстве NRC RG 1.201 [11].

В соответствии с этим подходом для конструкций, систем и компонентов (SSC) на основе информации о риске вводятся четыре класса безопасности (Risk-Informed Safety Classes):

- RISC-1 SSC – относящиеся к безопасности (safety related)² SSC, исполняющие функции безопасности высокой важности;
- RISC-2 SSC – не относящиеся к безопасности (nonsafety related) SSC, исполняющие функции безопасности высокой важности;

² Как указано в Руководстве NRC RG 1.153 [12], термины «safety related systems» и «safety systems» являются синонимами. Последний термин «системы безопасности» совпадает с российским, однако их не следует полностью отождествлять, поскольку они определены по разному.

- RISC-3 SSC – относящиеся к безопасности (safety related) SSC, исполняющие функции безопасности низкой важности;
- RISC-4 SSC – не относящиеся к безопасности (nonsafety related) SSC, исполняющие функции безопасности низкой важности.

Для классов RISC-3 SSC и RISC-4 SSC на добровольной основе допускается применение требований, установленных в § 50.69 части 50 CFR, вместо требований ряда других параграфов CFR, применявшихся ранее. Это позволяет вывести ряд SSC с низкой значимостью для безопасности из-под достаточно жестких ранее применявшихся требований.

Это один из ярких примеров внедрения риск-ориентированного подхода в собственно регулирование, осуществляемое NRC.

Общий объем разработок и информация о внедрении нового подхода в регулирование отражены во многих параграфах части 50 CFR и в его ключевых приложениях, таких как приложение А (Общие проектные критерии), приложение В (Обеспечение качества) и ряде других, а также ряде других частей CFR. План разработки и внедрения риск-ориентированного подхода в собственно регулирование был одобрен Комиссионерами в 1999 г. и представлен в документе [13].

Наряду с этим, NRC совместно с промышленностью постоянно ведет большую работу по совершенствованию PRA и обеспечению его соответствия требованиям внедрения риск-ориентированного подхода в различные сферы регулирующей деятельности. Представление об этом можно составить, ознакомившись с Руководством NRC [14].

Заключение

Использование научно обоснованных методов, соответствующих достигнутому уровню науки и техники, для внедрения регулирования, ориентированного на информацию о риске и конечный результат, – одна из стратегических задач NRC .

В приведенном выше обзоре была сделана попытка дать некоторое начальное представление о масштабах деятельности, направленной на решение этой задачи, и представить минимально-необходимое число ссылок в качестве отправных точек для более углубленного изучения этой тематики специалистами с целью заимствования полезного опыта.

Если это удалось, хотя бы частично, то автор будет считать свою задачу выполненной.

Использованная литература

1. 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.
2. US Nuclear Regulatory Commission, "Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy Statement," Federal Register, Vol. 60, No. 158, August 16, 1995
3. Nuclear Regulatory Commission, "Staff Requirements - SECY-98-144 - White Paper on Risk-Informed and Performance-Based Regulation." Washington, DC. March 1999.
4. Nuclear Regulatory Commission, "Guidance for Performance-Based Regulation" NUREG/BR-0303, Washington, DC, 2002.

5. Nuclear Regulatory Commission, SECY-07-0074, "Update on the Improvements to the Risk-Informed Regulation Implementation Plan." Washington, DC. April 2007.
6. Nuclear Regulatory Commission, SECY-00-0213, "Risk-Informed Regulation Implementation Plan." Washington, DC. October 2000.
7. Букринский А.М. Атомный надзор в США (основные черты и особенности). Журнал «Ядерная и радиационная безопасность», № 1, 2009.
8. Букринский А.М. Ключевые факторы безопасности и их оценка в процессе реакторного надзора NRC. Журнал «Ядерная и радиационная безопасность», № 2, 2009.
9. US Code of Federal Regulations (CFR), Energy, title 10, part 50, § 50.69 Risk-informed categorization and treatment of structures, systems and components for nuclear power reactors. November 2004.
10. Nuclear Energy Institute, "10 CFR 50.69 SSC Categorization Guideline," NEI 00-04, Revision 0, July 2005.
11. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.201, "Guidelines for Categorizing Structures, Systems, and Components in Nuclear Power Plants According to Their Safety Significance," Washington, DC, Revision 1, 2006.
12. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.153, "Criteria for safety systems," Washington, DC, Revision 1, June 1996.
13. Nuclear Regulatory Commission, SECY-99-256, "Rulemaking Plan for Risk-Informing Special Treatment Requirements," Washington, DC. October, 1999.
14. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.200, "An approach for determining the technical adequacy of probabilistic risk assessment results for risk-informed activities", Washington, DC, Revision 2, March 2009.