

В. Н. Васильченко, Г. В. Громов,
А. Е. Севбо, С. Э. Шоломицкий

Государственный научно-технический центр по ядерной
и радиационной безопасности

Использование риск-ориентированных подходов в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС Украины

Риск-ориентированные подходы (РОП) при принятии решений по безопасности (совместное использование детерминистических и вероятностных методов) являются современным методом регулирования безопасности ядерных установок. В статье представлены основные принципы и критерии принятия решений в рамках РОП, обобщен отечественный опыт и предложены рекомендации по внедрению оценок риска в деятельность по регулированию безопасности и эксплуатации АЭС Украины.

В. М. Васильченко, Г. В. Громов, О. Е. Севбо,
С. Е. Шоломицкий

Використання ризик-орієнтованих підходів у регулюючій діяльності та експлуатації АЕС України

Ризик-орієнтовані підходи (РОП) при прийнятті рішень щодо безпеки (сумісне використання детерміністичних та ймовірнісних методів) є сучасним методом регулювання безпеки ядерних установок. У статті представлено основні принципи та критерії прийняття рішень в рамках РОП, узагальнено вітчизняний досвід та запропоновано рекомендації щодо впровадження оцінок ризику в діяльність із регулювання безпеки та експлуатації АЕС України.

Законом Украины «Про дозвілну діяльність в галузі використання ядерної енергії» [1] установленно, що однією з цілей разрешительної діяльності є забезпечення використання тільки тех ядерних установок, джерел іонізуючого випромінювання, об'єктів, призначених для обробки з радіоактивними відходами, рівень безпеки яких визначено таким, який відповідає міжнародно-визнаним вимогам на основі всебічної оцінки всіх факторів, впливаючих на безпеку. Крім того, Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [2] встановлює заборону «...всюди діяльності, пов'язаної з іонізуючим випромінюванням, якщо перевага від такої діяльності менше, ніж можливий шкода, спричинений такою діяльністю». В зв'язі з цим актуальним питанням, як саме інструменти аналізу безпеки необхідно використовувати для прийняття регулюючих рішень.

Основною причиною прийняття будь-якого рішення про забезпечення і підвищення безпеки ядерних установок є оцінка впливу наслідків прийнятого рішення на безпеку. В загальному випадку ця оцінка може виконуватися на основі як детерміністичних, так і ймовірнісних методів. Відсутність достаточного аналізу досвіду експлуатації, необхідних знань про механізми старіння, відмов і зносу обладнання і т. д. слугує причиною того, що детерміністичні методи аналізу безпеки в процесі багаторічної історії розвитку ядерної енергетики переважають над іншими методами. Однак слід зауважити, що оцінки безпеки на основі виключно детерміністичних підходів в деяких випадках ведуть до надмірного консерватизму при прийнятті рішень, включаючи регулюючі (наприклад, к неоправданно великим об'ємам і підвищенню періодичності контролю, випробувань, перевірок і технічного обслуговування обладнання АЕС). Надмірний консерватизм вимог може призводити до негативних явищ з точки зору безпеки (прискореному зносу ресурсу обладнання, збільшенню дозових навантажень на персонал і т. д.).

В практиці аналізу безпеки ядерної енергетики в останні 25–30 років в світовій практиці широко освоюються і використовуються ймовірнісні методи, які дозволяють обґрунтовано концентрувати зусилля і засоби саме в тих областях, де існують дефіцити безпеки. В нашій країні основи для використання ймовірнісного аналізу безпеки в регулюючій діяльності були закладені в ОПБ-88 і продовжені в ОПБ-2008 (НП 306.2.141-2008) [3] шляхом встановлення ймовірнісних критеріїв безпеки. С початку 1990-х років на різних АЕС України почалися окремі роботи по ймовірнісним аналізам безпеки (ВАБ). За наступні 10 років було накоплено певний досвід і створено необхідну базову інфраструктуру в області застосування ймовірнісних методів, що дозволяє почати діяльність по використанню ризик-орієнтованого підходу (РОП) при прийнятті рішень по безпеці [4].

Під *ризик-орієнтованим підходом* розуміється підхід до прийняття регулюючих рішень, який використовує результати оцінок ризику в поєднанні з традиційними детерміністичними аналізами з метою сконцентрувати увагу регулюючого органу і ліцензіата на проектних і експлуатаційних проблемах в залежності від ступеня їх важливості для здоров'я населення і безпеки [6]. При впровадженні РОП очікується підвищення: ефективності регулювання; безпеки АЕС за рахунок пріоритетизації робіт і відповідної концентрації ресурсів в тих областях, де високо вплив на ризик; економічності АЕС за рахунок зменшення надлишкової регулюючої навантаження на ліцензіата і оптимального використання матеріально-технічних і фінансових ресурсів.

Программа внедрения риск-ориентированных подходов в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС Украины

Ключевым моментом внедрения РОП стало принятие в ноябре 2001 г. решения коллегии Госатомрегулирования Украины о планомерном внедрении РОП в практику эксплуатации АЭС и регулирующую деятельность [4].

На основании [4], межведомственной рабочей группой (Госатомрегулирования Украины, Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности — ГНТЦ ЯРБ, Национальная атомная энергогенерирующая компания «Энергоатом», АЭС, Киевский институт «Энергопроект») в 2002 г. была разработана *Программа внедрения риск-ориентированных подходов* (далее — Программа РОП). В 2005 г. Госатомрегулирования Украины подтвердил приверженность принципам РОП и определил приоритетным направлением своей деятельности выполнение Программы РОП [8]. Согласно [8] и на основании анализа состояния дел и опыта внедрения РОП за период 2002–2005 гг. Программа РОП была обновлена [6]. В рамках распределения функций, ГНТЦ ЯРБ стал непосредственным разработчиком [6] и [7], остальные участники формировали комментарии и замечания для подготовки окончательных редакций документов.

Программа РОП содержит общую стратегию, перечень задач и этапы внедрения РОП. Она является межведомственной, координирует действия регулирующего органа и эксплуатирующей организации (ЭО) по внедрению РОП. В ней предусмотрены элементы, отсутствующие в других программах и проектах, но необходимые для эффективного внедрения РОП в отрасли. Реализация работ по Программе РОП на комплексной основе позволит довести до логического завершения оценку безопасности АЭС и достичь цели повышения безопасности АЭС до уровня мировых стандартов при одновременном повышении экономической эффективности при эксплуатации энергоблоков. Основная задача Программы РОП — создание необходимой базы для внедрения РОП, что предусматривает: а) создание нормативной, методической и технической инфраструктуры, необходимой для широкого применения РОП; б) овладение необходимыми технологиями и приобретение опыта; в) отработку взаимодействия между ЭО и регулирующим органом. Успешная реализация этих задач на примере выбранных энергоблоков послужит основой для планомерного внедрения РОП в практику эксплуатации и деятельность по регулированию безопасности АЭС в отрасли в целом.

Управление и координация работ в рамках Программы РОП возложены на Межведомственный координационный

комитет (МКК), который формируется из представителей Госатомрегулирования Украины, ЭО, ГНТЦ ЯРБ, проектных организаций. МКК в своей деятельности руководствуется необходимостью внедрения передовых достижений отечественной и зарубежной науки и техники в области применения оценок риска. С этой целью МКК [7]:

осуществляет общую организацию и координацию Программы РОП;

вырабатывает рекомендации и предложения по первоочередным работам и графикам их реализации;

участвует в подготовке предложений, касающихся РОП, для обсуждения на научно-технических советах ЭО и Госатомрегулирования Украины;

определяет потребности, тематику и графики обучения и повышения квалификации персонала, принимающего участие в реализации Программы РОП;

анализирует и обобщает опыт международного сотрудничества в области РОП, вырабатывает предложения по организации такого сотрудничества, включению в состав международных проектов конкретных задач из состава Программы РОП.

Общая организационная структура внедрения РОП представлена на рис. 1.

На сегодняшний день работы по реализации Программы РОП ведутся по всем направлениям с использованием современных, международно-признанных методов углубленной оценки безопасности, позволяющих на новом качественном уровне переоценить проблемы и вопросы безопасности АЭС. Результаты этих работ, с одной стороны, выявили ряд недостатков и дефицитов безопасности, а с другой — показали большие потенциальные возможности для снижения риска и повышения экономичности при эксплуатации, заложенные в проектах энергоблоков АЭС Украины.

Нормативная и методологическая инфраструктура

Применение оценок риска в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС должно базироваться на системе нормативно-методологических и технических документов. Рис. 2 представляет иерархическую пирамиду документов по РОП (предварительную в смысле возможных изменений и уточнений состава документов в процессе применения РОП).

Ведущие позиции отведены общему нормативному документу по РОП, регламентирующему применение РОП. Данный документ разработан в ГНТЦ ЯРБ (авторы: Громов Г. В., Севбо А. Е., Лола И. А., Шоломицкий С. Э.) в рамках международного сотрудничества. Документ [9] устанавливает базовые принципы, основы и правила применения РОП в деятельности по регулированию безопасности АЭС Украины. В нем содержатся определения и характеристики областей применения РОП, общие требования и критерии, технические и методологические аспекты, включая также специфические условия применения вероятностных анализов в зависимости от областей РОП и поставленных задач. В частности, в документе определены процедурные шаги применения РОП, установлены критерии принятия решения с использованием оценок риска, требования к техническому качеству вероятностных оценок риска и соответствующей документации. Критерии и принципы принятия решений сформулированы на основании передовых методик риск-информированного регулирования (прежде всего США [12]), отечественного опыта разработки и применения ВАБ. В процессе разработки документов [6] и [9] предложенные критерии и принципы прошли обсуждение и согласование с Госатомрегулирования, ЭО, проектными и другими организациями.

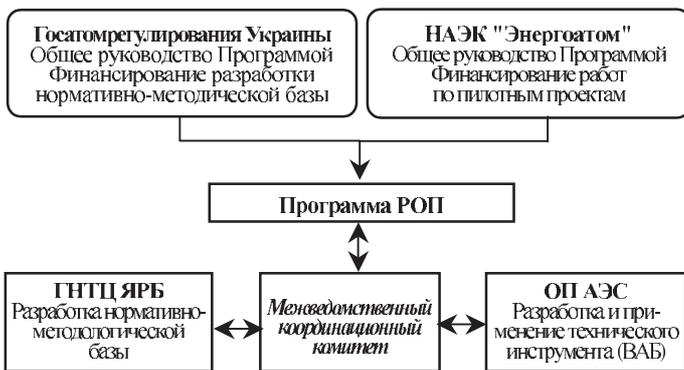


Рис. 1. Организационная структура внедрения РОП

В общем случае, если для обоснования модификации энергоблока используются оценки риска, то при принятии регулирующего решения сравниваются оценки до и после модификации. Если численные значения риска удовлетворяют критериям приемлемости и соблюдаются, в частности, следующие принципы: обеспечения концепции глубокоэшелонированной защиты; обеспечения достаточных запасов по безопасности; компенсации (оптимизации) возможных отрицательных эффектов и последствий от модернизации (при необходимости); обеспечения высокого технического качества обосновывающих материалов, то модификация может быть разрешена. Таким образом, численные значения риска используются не в качестве единственного критерия, а служат дополнительным аргументом при принятии решения по безопасности. Ниже более подробно освещены данные принципы.

В рамках РОП *обеспечение концепции глубокоэшелонированной защиты* означает, что при модернизации энергоблока: а) обеспечивается адекватность глубокоэшелонированной защиты тому риску (и соответствующей неопределенности), против которого она направлена; б) соблюдается разумный баланс между мерами по предотвращению повреждения активной зоны, мерами по предотвращению повреждения ГО и мерами по смягчению последствий таких событий; в) не нарушается независимость барьеров глубокоэшелонированной защиты; г) обеспечивается соблюдение принципов резервируемости, независимости и диверсификации систем; д) соблюдаются принципы предотвращения отказов по общей причине, в том числе и для возможных новых отказов по общим причинам; е) обеспечивается защита от возможных ошибок персонала.

Под *достаточными запасами по безопасности* понимается, что после предлагаемой модификации энергоблока будут поддерживаться достаточные запасы до нарушения проектных пределов (в терминах ОПБ), установленные для нарушений нормальной эксплуатации и проектных аварий.

По результатам анализа возможных отрицательных эффектов и последствий от предлагаемой модификации в случае существенного изменения риска необходимо разработать адекватные *компенсирующие мероприятия*. Предлагаемая модификация и компенсирующая мера должны соответствовать друг другу как в области действия, так и с точки зрения вероятностных характеристик. В области действия они должны быть связаны с одинаковыми функциями безопасности, исходными событиями аварий или аварийными последовательностями. С точки зрения вероятностных характеристик, недопустима компенсация увеличения риска по отношению к исходным событиям с высокой частотой возникновения (например, разрыв трубок парогенераторов) путем снижения риска вследствие событий с относительно малой вероятностью (например, землетрясений), даже если они связаны с одинаковыми функциями безопасности.

В рамках РОП *обеспечение технического качества обосновывающих материалов* означает следующее: объем, глубина, уровень детализации и качество инженерных обоснований должны адекватно соответствовать виду и объему модификации. Инструментом оценки является ВАБ с адекватным техническим качеством. ВАБ должен реалистично отражать существующий проект, действующую эксплуатационную практику и накопленный опыт эксплуатации энергоблока. Требования по объему и глубине детализации ВАБ могут варьироваться в зависимости от направления



Рис. 2. Иерархическая структура нормативных и методологических документов по РОП

РОП. Требования и рекомендации к техническому качеству ВАБ приведены, например, в [9], [14], [15], [16], [20].

Базируясь на вероятностных критериях [3], в [9] предложены критерии приемлемости риска для РОП. Критерии приемлемости выражены в терминах мер риска (частота повреждения активной зоны — ЧПАЗ; частота предельного аварийного выброса — ЧПАВ) и изменениях в мерах риска вследствие модификации энергоблока. Решение по модификации принимается в зависимости от соотношения базового значения меры риска (до модификации) и изменения меры риска вследствие модификации. В общем случае, чем выше базовое значение меры риска, тем меньшее ее изменение (увеличение) допускается (рис. 3). Следует отметить, что рис. 3 представляет только общую иллюстрацию критериев приемлемости, в каждом конкретном случае решение должно приниматься отдельно, с учетом всех сопутствующих факторов. Критерии используются в качестве ориентирных показателей уровня безопасности энергоблока и предназначены для сравнения с полномасштабной оценкой (включая внутренние исходные события аварий, внутренние и внешние экстремальные воздействия, работу энергоблока на номинальной, пониженной мощности и в режимах останова) изменения в мерах риска. Однако не для всех направлений РОП требуется ВАБ в полном объеме. Для обеспечения принятия регулирующего решения могут использоваться отдельные составные части полномасштабного ВАБ. В этом случае необходимо рассмотреть значимость недостающих частей ВАБ.

Документ [9] еще не введен в действие, что не способствует развитию РОП в Украине и не позволяет legitimately использовать оценки риска как в регулирующей деятельности, так и в эксплуатации АЭС Украины. Для форсирования внедрения РОП необходимо ввести в действие документ [9] (либо разработанный на его основе) как документ первого уровня в системе нормативно-правового регулирования согласно [10]. Система нормативно-методологических и технических документов включает документы, устанавливающие требования к содержанию, объему анализов и методологии различных направлений ВАБ и прикладных задач ВАБ. В настоящее время ГНТЦ ЯРБ (Громов Г. В., Глушенко Н. Ф., Лысенко С. В., Севбо А. Е., Шоломицкий С. Э., Шумаев А. Н.) с использованием отечественного опыта работ и современных, международно-признанных методологий разработаны первоочередные документы (см. пп. 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3 на рис. 2); они обсуждены с предприятиями ЭО, проектными и зарубежными организациями и согласованы Госатомрегулирования. Документы предназначены для выполнения экспертиз и могут быть применены для выполнения соответствующих работ, связанных с использованием РОП.

Практическое применение риск-ориентированных подходов

Анализируя состояние практического использования РОП, можно констатировать, что в 2003–2007 гг. была укреплена необходимая инфраструктура для внедрения и последующего использования РОП: существуют отечественные организации технической поддержки, владеющие методологией ВАБ и имеющие практический опыт; созданы соответствующие структурные подразделения и группы специалистов на всех действующих АЭС; апробированы термогидравлические и вероятностные модели для всех типов действующих на Украине энергоблоков АЭС на современных расчетных программах; осуществляется деятельность по адаптации ВАБ на непилотные энергоблоки.

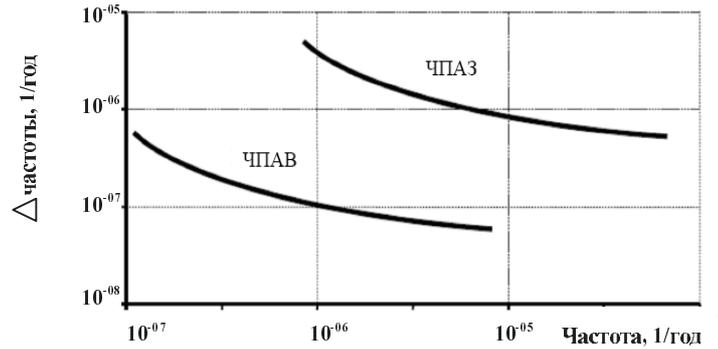


Рис. 3. Критерии приемлемости

В отрасли ведутся работы по практическому использованию оценок риска для выбора и оценки достаточности мер по компенсации дефицитов безопасности. Например, на энергоблоке № 1 РАЭС решается задача устранения дефицита безопасности, связанного с множественными отказами оборудования вследствие пространственных взаимодействий (например, запаривание, биение трубопроводов, воздействие реактивных струй воды и пара), вызванных разрывами высокоэнергетических трубопроводов 2-го контура. Реализация запланированного изначально мероприятия «анализ возможности применения концепции «зона без разрыва»...» (п. 2.4.2 в [11]) затруднительна вследствие несоответствия целому ряду критериев (в первую очередь, из-за сложной геометрической компоновки трубопроводов энергоблока № 1 РАЭС). Поэтому в качестве компенсирующего мероприятия был предложен вариант использования дополнительной системы аварийной питательной воды (ДСАПВ). Сравнительные вероятностные оценки риска [17] показали, что такой вариант является наиболее эффективной мерой из числа предложенных и снижает ЧПАЗ на $1,96 \cdot 10^{-5}$ 1/год, тогда как реализация концепции «зона без разрыва» приведет к повышению безопасности энергоблока только на $2,30 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Другие примеры применения оценок риска приведены в [13], [18], [19].

Однако существующая инфраструктура не используется на необходимом уровне, в частности:

практическое внедрение РОП ведется медленными темпами; выполненные оценки повышения безопасности от реализации мероприятий [11] не используются при планировании соответствующей деятельности; оценки риска по другим направлениям или не используются, или используются в ограниченных объемах несистемно;

модели ВАБ не поддерживаются в оперативном состоянии (вследствие чего устаревают существующие вероятностные, термогидравлические модели и базы данных, что потребует дополнительных усилий по их обновлению и технической поддержке), и возникает проблема соответствия оцененного в ВАБ уровня безопасности энергоблока его реальному состоянию.

Оцененная в ВАБ безопасность энергоблоков АЭС Украины в целом удовлетворяет вероятностному критерию по ЧПАЗ (за исключением энергоблока № 1 РАЭС), установленному в [3] для действующих энергоблоков, но по отношению к частоте предельного аварийного выброса безопасность энергоблоков АЭС Украины не соответствует критерию ОПБ. Так, для всех пилотных энергоблоков (№ 1 РАЭС, № 1 ЮУАЭС, № 5 ЗАЭС, № 2 ХАЭС, № 4 РАЭС) ЧПАВ не удовлетворяет критерию $1 \cdot 10^{-5}$ 1/год. Вопрос соответствия безопасности АЭС национальным тре-

бованиям и международным стандартам по безопасности требует выполнения комплекса мероприятий. Нужны анализ достаточности и эффективности действующих мероприятий по повышению безопасности в [11] в аспекте обеспечения требуемого уровня безопасности энергоблоков и разработка при необходимости новых мероприятий. Такие мероприятия должны послужить основой для разработки концепции повышения безопасности на период после 2010 г.

Кроме того, предлагается создать систему мониторинга изменений текущего состояния энергоблока и технического сопровождения ВАБ, а также выполнить действия по гармонизации моделей и результатов ВАБ для однотипных энергоблоков с целью уменьшения избыточного консерватизма.

В части регуляторного применения РОП предлагается организовать деятельность по использованию оценок риска для инспекционной деятельности (планирование инспекционной деятельности, оценка влияния на риск повреждения активной зоны недостатков/отклонений, идентифицированных во время инспекций, и др.). Необходимыми элементами для такой деятельности должна стать разработка: а) соответствующего нормативно-методического документа (п. 2.6 на рис. 2); б) регуляторных вероятностных моделей (не зависящих от вероятностных моделей ЭО) для каждого типа энергоблока с последующим техническим сопровождением. Кроме этого, наличие регуляторных моделей позволит выполнять независимую оценку проблем безопасности, обосновывать выводы государственных экспертиз в части материалов ВАБ эксплуатирующей организации, оценку и ранжирование эксплуатационных событий и др.

Заключение

В целом в отрасли сложилось понимание необходимости развития и прикладного использования результатов и технологий, полученных в процессе выполнения работ по вероятностному анализу безопасности. В ходе ряда межведомственных совещаний отмечены хорошие перспективы по дальнейшему использованию методов РОП в таких областях, как предупреждение, управление и ликвидация аварий, более эффективному использованию ресурсов для целей повышения безопасности, а также повышению экономических показателей без снижения текущего уровня безопасности энергоблока. Вместе с тем, в последнее время наметилось некоторое замедление темпов реализации Программы РОП, связанное, с одной стороны, с возникновением определенных сложностей по финансированию работ, а с другой — с недостаточной координацией их выполнения. В частности, в условиях ограниченных ресурсов целесообразно было бы выделить ряд наиболее приоритетных задач, на которых должны быть сконцентрированы имеющиеся ресурсы. К первоочередным задачам должны быть отнесены: завершение разработки и введение в действие нормативно-методологических документов;

создание системы мониторинга изменений текущего состояния энергоблока и технического сопровождения ВАБ; устранение дефицитов безопасности и выделение приоритетных мероприятий по повышению безопасности;

выполнение пилотных работ в области использования РОП при эксплуатации АЭС;

выполнение пилотных работ в области регуляторного применения РОП.

Реализация работ по перечисленным направлениям на комплексной основе позволит довести до логического завершения углубленную оценку безопасности АЭС и повы-

сить безопасность АЭС Украины до уровня мировых стандартов с одновременным повышением экономических показателей эксплуатации энергоблоков.

Литература

1. Закон України «Про дозвілну діяльність в галузі використання ядерної енергії» // Відомості Верховної Ради.
2. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» // Відомості Верховної Ради. — 1995. — № 12.
3. Общие положения безопасности атомных станций. НП306.2.141-2008.
4. Протокол № 4 заседания научно-технического совета ГНТЦ ЯРБ от 28.12.2001.
5. Решение коллегии Госатомрегулирования Украины от 13.11.2001 № 9 «О применении оценок риска в регулировании безопасности ядерных установок» и пояснительная записка к решению коллегии.
6. Программа внедрения риск-ориентированных подходов в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС Украины» / НАЭК «Энергоатом», Госатомрегулирования Украины. — К., 2006.
7. Положение о Межведомственном координационном комитете по реализации Программы внедрения риск-ориентированных подходов в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС Украины / НАЭК «Энергоатом», Госатомрегулирования Украины. — К., 2004.
8. Решение коллегии Госатомрегулирования Украины от 12.09.2005 № 15 «Про стан впровадження ризик-орієнтованих підходів в експлуатаційній та регуляторній діяльності» и пояснительная записка к решению коллегии.
9. Застосування ризик-орієнтованих підходів у діяльності по регулюванню безпеки АЕС України. Основні положення / Держатомрегулювання України. — 2005.
10. Положення про систему нормативно-правового регулювання в сфері використання ядерної енергії, ядерної та радіаційної безпеки. — К.: Держ. комітет ядерного регулювання України, 2004.
11. Концепция повышения безопасности действующих энергоблоков атомных электростанций, утвержденная распоряжением Кабинета Министров Украины № 515-р от 13.12.2005.
12. An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to The Licensing Basis // US Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.174. — 2002.
13. Исследование влияния на риск тяжелой аварии действий оперативного персонала при разуплотнении первого контура РУ ВВЭР-1000/320 (малые течи в пределах гермообъема) и отклае CAOЗ ВД / ОП Бюро ГНТЦ ЯРБ. — 2005.
14. Determining the quality of PSA for application in NPPs // IAEA TECDOC 1511. — Vienna, 2006.
15. Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants // IAEA Safety Standards Series, DS394 IAEA. — Vienna, 2007.
16. Development and Application of Level 2 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants // IAEA Safety Standards Series, DS393 IAEA. — Vienna, 2008
17. Ровенская АЭС. Энергоблок № 1. Обоснование компенсирующих мероприятий при невозможности применения концепции «зона без разрыва», мероприятие 2.4.2 КПБ КМУ. Итоговый отчет по обоснованию компенсирующих мероприятий при невозможности применения концепции «зона без разрыва». EP06-2008.120.ОД01. — 2008.
18. Ровенская АЭС. Энергоблок № 1. Вероятностная оценка стратегии локализации аварии течи I контура во II эквивалентным диаметром 100 мм, альтернативной реконструкции ПК ПГ / ООО «Новатор-2». — 2007.
19. Южно-Украинская АЭС. Энергоблок № 1. Выработка критериев возможности применения методики и программного обеспечения оптимального планирования ремонта к оборудованию класса 3н и определение степени влияния оборудования системы основного конденсата на безопасность энергоблока». EP5-2008.101.ОД.1. — 2008.
20. Standard for Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications // ASME RA-S-2002, April 5, 2002, and Addenda to ASME RA-S-2002, ASME RA-Sa-2003, December 5, 2003.