

А. Е. Севбо, А. В. Тарановский

*Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Киев, Украина*

## Состояние проблемы управления рисками при эксплуатации АЭС

*Показано состояние проблемы управления рисками при выполнении оценок безопасности ядерных установок, обобщен международный опыт и рассмотрена необходимость разработки методологии управления и оптимизации рисков при эксплуатации АЭС Украины.*

*Ключевые слова: управление рисками, атомные электростанции, вероятностный анализ безопасности.*

**О. Е. Севбо, А. В. Тарановський****Стан проблеми управління ризиками в процесі експлуатації АЕС**

*Показано стан проблеми управління ризиками під час виконання оцінок безпеки ядерних установок, узагальнено міжнародний досвід практики управління ризиками в процесі експлуатації АЕС, розглянуто необхідність відпрацювання методології управління й оптимізації ризиків при експлуатації АЕС України.*

*Ключові слова: управління ризиками, атомні електростанції, імовірнісний аналіз безпеки.*

**А**томные электростанции представляют собой источник потенциальной опасности радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду. Степень радиационного риска напрямую зависит от уровня безопасности, которая является одним из основных свойств, определяющих возможность использования атомных электростанций в качестве источников тепловой и электрической энергии.

Законом Украины «Про дозвілну діяльність в галузі використання ядерної енергії» [1] установлено, что одной из целей разрешительной деятельности есть обеспечение использования только тех ядерных установок, источников ионизирующего излучения, объектов, предназначенных для обращения с радиоактивными отходами, уровень безопасности которых признан таким, который отвечает международно-признанным требованиям на основе всесторонней оценки всех факторов, влияющих на безопасность. Кроме того, Закон Украины «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [2] устанавливает запрет «...всякой деятельности, связанной с ионизирующим излучением, если преимущество от такой деятельности меньше, чем возможный вред, причиненный такой деятельностью».

Атомные энергоблоки, эксплуатирующиеся в Украине, в основном представляют собой проекты 1960—1970 гг., созданные по действующим тогда в СССР нормам и правилам ядерной и радиационной безопасности. Оборудование и системы безопасности проектировались по отношению к постулируемым проектным авариям, с заданными параметрами и начальными состояниями. Однако аварии относятся к категории случайных событий, которые характеризуются масштабами последствий и величинами вероятностей их реализации. Долгое время вероятностная природа аварий не рассматривалась при проектировании и обоснованиях безопасности АЭС. Это привело к тому, что не были изучены наиболее вероятные пути протекания аварий, а соответственно, для таких путей не были предусмотрены системы, оборудование и требования противоаварийных процедур по действиям персонала, необходимых для предотвращения или управления аварией. Кроме того, отечественный и мировой опыт эксплуатации атомных электростанций показывает, что использование самых эффективных технических систем безопасности, самых современных методов контроля технологических процессов не обеспечивает (и в принципе не может обеспечить) абсолютную надежность функционирования систем, оборудования и персонала АЭС, полностью исключаящую аварию. Какой бы ни была вероятность аварий, представляющих угрозу экологической обстановке целых регионов и жизни значительного количества людей, риск их возникновения всегда существует.

Целью данной статьи является анализ имеющихся знаний в области управления рисками, а также формирование задач дальнейших исследований применительно к использованию данного подхода на АЭС Украины. Актуальность темы статьи обусловлена наличием объективно существующей научной проблемы, заключающейся в отсутствии целостной отработанной методологии управления и оптимизации рисков при эксплуатации АЭС Украины.

**Международный опыт управления рисками при эксплуатации АЭС.** Поиск путей решения этой проблемы начался в США, в конце 1960-х годов, с использованием заимствованной у авиакосмической промышленности технологии вероятностного анализа безопасности. Первое всеобъемлющее

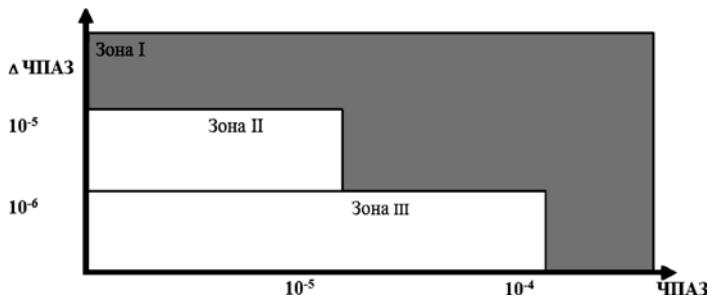


Рис.1 .1 Критерии приемлемости риска КЯР США [6]:  
 зона I — польза от принятого решения не превышает возможный вред, изменения в лицензионной базе не допускаются;  
 зона II — изменения в лицензионной базе допускаются с последующим наблюдением состояния эксплуатируемого объекта;  
 зона III — изменения в лицензионной базе допускаются без ограничений

применение методологии вероятностных анализов безопасности (ВАБ) для атомных станций относится к 1975 г., когда в США было опубликовано исследование [3]. Хотя методы исследования и подверглись определенной критике, с момента выхода этой работы область вероятностного анализа получила существенное развитие, и методы ВАБ стали одним из инструментов анализа безопасности. Более того, фактически WASH-1400 предсказал аварию на Три Майл Айленд (1979 г.) с частичным повреждением активной зоны. После этого инцидента в США было рекомендовано более широкое использование вероятностного анализа безопасности в дополнение к традиционным детерминистическим методам анализа. Дальнейшее развитие и усовершенствование методов ВАБ проводилось в США, ФРГ, других странах, а к концу 1980-х годов за рубежом было выполнено несколько десятков ВАБ различного объема. Логическим продолжением и развитием вероятностных анализов безопасности является применение методов ВАБ для управления рисками в процессе регулирования безопасности и эксплуатации АЭС. В мировой практике анализа безопасности ядерной энергетики последние 25—30 лет широко осваиваются и используются вероятностные методы [4], которые позволяют обоснованно концентрировать усилия и средства именно в тех областях, где существуют дефициты безопасности, или оказывают наибольшее влияние на безопасность ядерных установок. Органы регулирования безопасности атомных станций многих государств (Аргентина, Бразилия, Канада, Финляндия, Франция, Германия, Испания, Индия, Швеция, Япония, Великобритания, США) используют или намереваются использовать вероятностные оценки риска в практике регулирования.

Абсолютная безопасность АЭС не является реалистично достижимой целью. Поэтому необходимо определить приемлемый уровень безопасности (или допустимый уровень риска). Обычно риск рассматривается как приемлемый, если: а) он не является значительным дополнением к уже существующему риску; б) преимущества от действий, приводящих к такому риску, соразмерны с дополнительным риском. Следовательно, для установления допустимого уровня риска и оценки его приемлемости необходимо наличие адекватных технических инструментов и технологий их использования.

Первые документы по управлению рисками в регулирующей деятельности были разработаны в США. В 1995 г. Комиссия ядерного регулирования (КЯР) США опубликовала заявление о политике использования методов ВАБ в практике ядерного регулирования [5], которая

описывает историческую эволюцию использования ВАБ и представляет концептуальную структуру для расширения такого использования. В частности, подчеркивается, что современные технологии ВАБ должны широко использоваться в регуляторной деятельности в качестве дополнения к традиционному детерминистическому подходу и философии глубокоэшелонированной защиты КЯР США. Базируясь на заявлении [5], КЯР разработала планы внедрения ВАБ [7], трансформированные в План внедрения риск-информированного регулирования [8]. Отметим, что КЯР противопоставляет и не приветствует регулирование, при котором для принятия решений по безопасности количественные результаты оценки риска используются в качестве единственного критерия в отличие от регулирования, при котором оценки риска используются в качестве дополнительного аргумента к традиционному детерминистическому подходу. На основании плана [7] был разработан ряд документов, определяющих общую стратегию, правила, принципы и критерии применения вероятностных оценок риска для принятия решения по безопасности АЭС США [6]. Заложенные в указанных документах КЯР США критерии и ключевые принципы применения оценок риска в регулирующей деятельности отображают проектные и эксплуатационные особенности АЭС США, учитывают достигнутый уровень безопасности АЭС, соответствуют реальному состоянию использования и внедрения вероятностных методов анализа безопасности, удовлетворяют требованиям ядерного законодательства США и соответствующих нормативно-правовых документов.

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 определенные детерминистические принципы (обеспечения концепции глубокоэшелонированной защиты; обеспечения достаточных запасов по безопасности; компенсации возможных отрицательных эффектов и последствий от модернизации; обеспечения высокого технического качества обосновывающих материалов), модификация может быть разрешена. Таким образом, численные значения риска используются не в качестве единственного критерия, а служат дополнительным аргументом при принятии решения по безопасности.

Подход по количественным критериям приемлемости риска, принятый КЯР США, проиллюстрирован на рис. 1 на примере частоты повреждения активной зоны.

Со стороны организаций, эксплуатирующих АЭС в США, ведется параллельная деятельность по разработке методов и подходов применения оценок риска для снижения регулирующей нагрузки на лицензиата. Проект энергоблока, технологический регламент, отчеты по анализу безопасности, инструкции по ликвидации аварий и другие материалы, которые служат обоснованием для принятия решения о лицензировании энергоблока и/или изменение которых требует проведения экспертизы и согласования регулирующего органа, являются лицензионной базой энергоблока. Под действием понимается любое действие или модификация АЭС, приводящая к изменению лицензионной базы энергоблока и, соответственно, к изменению риска повреждения активной зоны (или раннего большого аварийного выброса радиоактивных веществ в окружающую среду).

В Великобритании в области управления рисками при эксплуатации АЭС законодательно [9] устанавливается, что риск должен быть снижен до практически достижимого уровня — принцип «as low as reasonably practicable, ALARP». Под риском подразумевается риск смерти индивидуума — внезапной или отложенной вследствие радиационного воздействия при аварии. Принцип ALARP означает, что эксплуатирующая организация должна предпринимать все практически реализуемые действия для снижения риска. Юридически это означает, что действия по повышению безопасности должны осуществляться до тех пор, пока их стоимость не становится чрезвычайно выше стоимости снижения риска. Лицензиатам рекомендуется выполнять ВАБ на ранних стадиях проектирования АЭС, когда необходимые изменения по снижению риска могут быть внесены без существенных затрат. Следует отметить, что хотя формальные методы оценки стоимость—выгода могут применяться для поддержки принятия решений, в ядерной отрасли Великобритании такие методы еще не используются.

Руководство по применению принципа ALARP [10] содержит общую структуру контроля над рисками на АЭС и представляет концепцию трех уровней риска:

область неприемлемого риска, т. е. риск не может быть оправданным;

область допустимого риска. Для такой области должны быть предусмотрены меры по контролю риска и обеспечению принципа ALARP;

область приемлемого риска. Для такой области орган регулирования не будет требовать от эксплуатирующей организации мер по дальнейшему повышению безопасности.

Принципы оценки безопасности [11] используют общую структуру [10] и устанавливают базовые пределы безопасности и базовые цели безопасности в виде численных мер риска. Базовый предел безопасности представляет предел допустимости, которому должна удовлетворять АЭС для получения лицензии. Более того, по закону Великобритании не достаточно просто удовлетворять численным критериям риска: должно быть показано, что риск снижен до практически достижимого уровня (по принципу ALARP). Для частоты повреждения энергоблока базовый предел безопасности составляет  $10^{-4}$  1/год, а базовая цель безопасности —  $10^{-5}$  1/год. Для частоты большого выброса радиоактивных веществ, т. е. приводящей к максимальной дозе 10000 ТБк йода-131 или 200 ТБк цезия-137, или других изотопов, приводящих к подобным последствиям, базовый предел безопасности составляет  $10^{-5}$  1/год, а базовая цель безопасности —  $10^{-7}$  1/год.

Вероятностные критерии безопасности, применяемые в Великобритании, представлены на рис. 2.

Документ [12] расширяет область регулирования риска от АЭС на другие отрасли промышленности. Сравнение безопасности АЭС с базовыми пределами и целями безопасности выполняется на основе ВАБ, специфичных для конкретного энергоблока. Кроме целей лицензирования, ВАБ в Великобритании используется для идентификации проблем безопасности, оценки модификаций АЭС, планирования технических обслуживаний и ремонтов, мониторинга риска и др.

В Нидерландах принят подход к управлению рисками, характеризующийся следующими особенностями [13]:

подход охватывает индивидуальные и социальные риски для всех потенциально опасных промышленных и транспортных установок, а не только для ядерных установок;

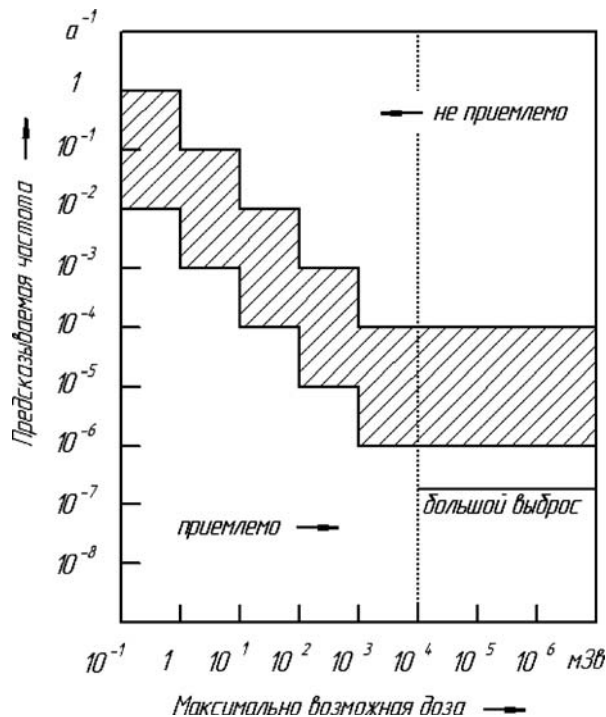


Рис.2 . Критерии приемлемости риска в Великобритании: зона приемлемости — изменения в лицензионной базе допускаются; зона оптимизации — изменения в лицензионной базе допускаются с учетом соблюдения принципа ALARP; зона неприемлемости — изменения в лицензионной базе не допускаются

подход основан на количественных вероятностных критериях безопасности, которые должны быть продемонстрированы при лицензировании, изменении проекта и эксплуатации;

критерии риска установлены по отношению к социальному риску, а не индивидуальному.

Иллюстрация ограничений коллективного или социального риска в Нидерландах приведена на рис. 3.

В зависимости от частоты аварий и связанных с ними количеств внезапных смертей рассматривают три зоны:

зона приемлемости. Характеризуется низкой частотой возникновения аварии; частоты события, приводящие до 10 ранних смертельных случаев, не должны превышать  $10^{-7}$  1/год;

зона оптимизации. Характеризуется частотами событий, на два порядка превышающих зоны приемлемости. Для данной зоны требуется оптимизация риска;

зона неприемлемости. Характеризуется частотами, превышающими зону оптимизации. Изменения проекта и эксплуатации не разрешаются.

Кроме того, риск смерти индивидуума вследствие эксплуатации установки не должен превышать  $10^{-6}$  1/год.

По отношению к риску от эксплуатации АЭС, по оси ординат (рис. 3) вместо ожидаемой частоты исходов применяется частота повреждения активной зоны. Несмотря на ограничивающий характер критериев риска, единственный энергоблок в Нидерландах, на АЭС Борсель (Borssele), удовлетворяет этим критериям [14], тогда как наземный и воздушный виды транспорта испытывают определенные сложности в части соответствия критериям. Данное обстоятельство несколько конфликтует с ожиданиями общественности по поводу рисков на разных производствах. Поэтому в Нидерландах продолжают дискуссии по поводу дальнейших исследований критериев приемлемости риска.



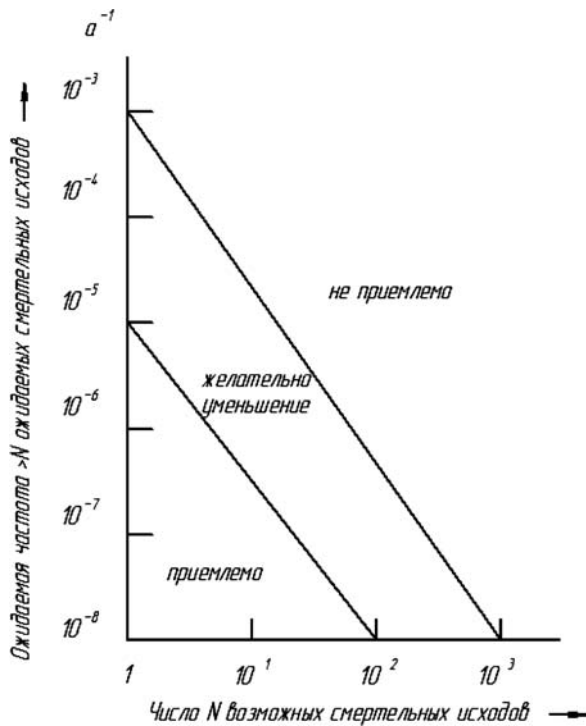


Рис.3 . Критерий социального риска в Нидерландах

Регулирование ядерной безопасности в Японии основано на детерминистическом подходе глубокоэшелонированной защиты и инженерных суждениях. Однако, после развития технологии вероятностной оценки безопасности в последние годы, Комиссия по ядерной безопасности Японии начала принимать во внимание то, что использование информации о рисках в дополнение к традиционному детерминистическому подходу могло бы повысить эффективность регулирования безопасности, так как информация о рисках может дать много разных преимуществ.

Для того чтобы показать стратегию по внедрению риск-информированного регулирования, Комиссия по ядерной безопасности опубликовала базовый закон, а специальная рабочая группа издала временные цели безопасности в 2003 г. Цели внедрения риск-информированного регулирования — это дальнейшее улучшение рациональности, последовательности и прозрачности в регулировании ядерной безопасности, а также рост эффективности за счет соответствующего распределения ограниченных ресурсов для мероприятий по регулированию. Риск-информированное регулирование должно дополнять существующее детерминистическое регулирование, так как технология вероятностной оценки безопасности нуждается в дальнейшем развитии, чтобы оценить абсолютные величины рисков для каждой АЭС. В начальной стадии такая методика должна внедряться в оперативное или инспекционное поле деятельности, а затем — в разработку и проектирование. После накопления опыта риск-информированное регулирование будет применено к проектированию и работе АЭС.

В соответствии с законом Комиссии по ядерной безопасности, Агентство по ядерной и промышленной безопасности Японии издало концепцию применения информации о рисках в регулировании ядерной безопасности, где показана область применения, ее рамки и подходы в соответствии с риск-информированным регулированием. Это Агентство при поддержке Организации безопасности

в ядерной энергетике Японии разработало краткосрочный исполнительный план по использованию информации о рисках. Недавно были подготовлены нормативы, которые определяют базовые принципы использования информации о рисках в регулировании ядерной безопасности, а также нормы качества для расчетов вероятностного анализа безопасности уровней 1—3, необходимого для регулирования.

Использование информации о рисках в Японии начинается в инспекционной деятельности и сейсмических аспектах ядерных объектов. Документ «Regulatory Guide for Reviewing Classification of Importance of Safety Functions of Light Water Nuclear Reactor Facilities (NSCRG L-DS-I.01)» был частично пересмотрен в 2009 г., а подготовлен в 1990 г. для классификации важности функций безопасности на стадии проектирования, но отнесен также к стадиям строительства и эксплуатации из-за того, что функции безопасности должны поддерживаться на всех стадиях жизни АЭС. В январе 2009 г. использование информации о рисках положило начало новой программе обслуживания оборудования с определением важности обслуживания (например, выборочное обслуживание или проверка), что в будущем может повысить его эффективность. Комиссия по ядерной безопасности пересмотрела регулирующие нормы по сейсмическим аспектам ядерных объектов в сентябре 2006 г., чтобы отразить значительные технические улучшения, произошедшие после принятия бывших нормативов в 1981 г. В пересмотренном нормативе специальному комитету рекомендовано проанализировать вероятностный критерий — ускорение на поверхности грунта при принятом в проекте землетрясении (design-basis-earthquake-ground-motion,) чтобы привести дополнительную информацию для обсуждения адекватности консерватизма при его определении. Специальный комитет заключил, что качественное использование вероятностных критериев расчета сейсмостойких конструкций может помочь в решении проблем расчета вероятностей, продвижении изучения сейсмических вероятностных оценок безопасности и сделать вклад в будущее риск-информированного регулирования.

Цели безопасности в Японии (рис. 4) — снизить смертность, связанную с ядерным и радиационным воздействием до уровня  $10^{-6}$  1/год (учитывая природу оценки риска эта величина колеблется от  $8 \cdot 10^{-7}$  до  $2 \cdot 10^{-6}$  1/год).

**Опыт использования методов управления рисками на АЭС Украины.** Действующие в Украине нормы и правила основаны на детерминистических подходах и критериях. Отсутствие достаточного опыта эксплуатации, необходимых знаний о механизмах старения, отказах и износе оборудования и другие объективные причины послужили принципиальной основой для построения детерминистических подходов, которые оправдали себя на этапе становления атомной энергетики, при проектировании и строительстве энергоблоков, изготовлении оборудования. Невзирая на то, что нормы и правила обеспечивают необходимые уровни безопасности, детерминистические подходы иногда ведут к слишком консервативным требованиям, например неоправданно широким объемам и повышенной частоте периодического контроля, опробований, ремонтов и технических обслуживаний оборудования АЭС. Сложилась ситуация, когда с увеличением опыта эксплуатации возникают новые требования, а следовательно, увеличиваются расходы на выполнение этих требований. Этому также способствует усердствование средств контроля



Рис. 4. Цели безопасности в Японии

и диагностики, повышение их чувствительности и возможности выявления дефектов и/или отклонений в рабочих параметрах оборудования, что в свою очередь приводит к возникновению новых ограничений. Избыточный консерватизм требований достаточно часто ведет к негативным явлениям с точки зрения безопасности: ускоренному истощению ресурса оборудования, увеличению дозовых нагрузок на оперативный и ремонтный персонал и т. д.

В то же время, на эксплуатирующую организацию законодательно [2] возложена вся полнота ответственности за безопасность ядерных установок, независимо от деятельности и ответственности поставщиков и органов государственного регулирования ядерной и радиационной безопасности. Среди множества других проблем, эксплуатирующая организация и АЭС должны обеспечить экономическую эффективность эксплуатации атомной электростанции в условиях консерватизма регуляторных требований; выполнить мероприятия по повышению безопасности и модификации АЭС, требуемые различными, часто не согласованными между собой документами; продлить ресурс оборудования; обосновать различные технические решения и т. д. В связи с этим особенно актуален вопрос, какие именно инструменты анализа безопасности и методы их применения необходимо использовать для принятия регулирующих решений относительно уровня безопасности ядерных установок. Необходима такая методология выработки и принятия обоснованных решений, которая предусматривает адекватное внимание к средствам предотвращения аварии, к мерам ликвидации ее последствий на тот случай, если авария все же произошла, и к значениям риска возникновения нежелательных последствий вследствие аварии.

В настоящее время использование ВАБ для оценок безопасности АЭС требуют и международные стандарты, и отечественные нормативные документы. Эту задачу западные станции начали решать намного раньше, чем украинские (да и российские тоже), и ушли на десятилетие вперед. Работы по выполнению ВАБ на различных АЭС Украины стартовали с начала 1990-х годов. Одной из первых работ по ВАБ для атомной отрасли в Украине была оценка влияния энергоблока № 3 Чернобыльской АЭС на объект «Укрытие» [16] (1993 г., разработчики: Сагидуллин Л.А., Севбо А.Е., Ананенко А.М.). Новаторские вероятностные расчеты и нестандартные технические решения, выполненные в условиях отсутствия отечественной методической и нормативной базы, позволили создать технический потенциал для дальнейшего развития ВАБ в Украине.

Действующие в тот период нормативные документы формально не требовали выполнения ВАБ. Только в 1995 г. был введен в действие документ, определяющий требования к содержанию отчетов по анализу безопасности, в том числе и к главе ВАБ.

Полученный опыт пригодился для оценки безопасности энергоблока с реактором типа ВВЭР. Так, в 1993 г., в рамках международного сотрудничества начались работы по переоценке безопасности энергоблока № 1 Ровенской АЭС в соответствии с современными на тот момент технологиями ВАБ первого уровня и рекомендациями МАГАТЭ. Для эффективного производства работ и обеспечения адекватного технического качества была создана команда разработчиков, состоящая из специалистов по различным техническим аспектам ВАБ (анализ надежности оборудования, моделирование систем энергоблока, анализ надежности персонала и др.); представителей цехов РАЭС, досконально знающих функционирование, практику эксплуатации и документацию энергоблока; консультантов фирмы SCIENTECH (США). В течение нескольких лет велась работа по изучению, сбору и документированию исходной информации по оборудованию и системам; сбору и обработке статистических данных по отказам оборудования и частотам исходных событий аварий; анализу и моделированию ответной реакции энергоблока на возникновение исходных событий аварий; количественной оценке частоты повреждения активной зоны. Американская сторона передала необходимые для анализа безопасности методики проведения расчетов и программные средства (вероятностный расчетный код REVEAL) для определения частоты повреждения активной зоны. Код REVEAL впервые был использован для анализа безопасности АЭС. В процессе работы с кодом украинские специалисты внесли ряд предложений по отладке и усовершенствованию кода, которые нашли свое отражение при выпуске следующей версии в 1997 г. Особенностью первых исследований ВАБ Ровенской АЭС стало использование философии успеха, т. е. моделирование комбинации успешных действий систем и персонала, позволяющей предотвратить нежелательные последствия (например, повреждение активной зоны) в случае возникновения аварии. По ряду причин в настоящее время применяется стандартная методологии деревьев отказов (т. е. моделирование комбинаций отказов систем и действий персонала, приводящих к нежелательным последствиям).

Исследования, выполненные в 1992—1994 гг., представляли собой первые шаги на пути вероятностных анализов. Во-первых, сформировалась команда инженеров и ученых, способных решать поставленные задачи; во-вторых, были отработаны пути сотрудничества и взаимодействия эксплуатационного персонала АЭС, ученых-теоретиков и инженеров-практиков ВАБ; в-третьих, были взяты на вооружение различные методы и подходы к разработке технических элементов ВАБ; в-четвертых, получен практический опыт. Поэтому, в результате инициатив АЭС и организаций технической поддержки, в 1995 г. были начаты работы по ВАБ первого уровня для энергоблоков № 1 Южно-Украинской АЭС и № 1 Ровенской АЭС. Чуть позже, в 1998 г., начал реализовываться аналогичный проект для пилотного энергоблока № 5 Запорожской АЭС.

Первоначально объем анализов ВАБ ограничивался рассмотрением внутренних исходных событий аварий при работе энергоблоков на номинальном уровне мощности. Дальнейшее развитие шло по пути расширения

исследований до анализов внутренних экстремальных воздействий (затоплений и пожаров) и ВАБ второго уровня. Всего в проектах для каждого пилотного энергоблока участвовало около 60 профессионалов своего дела (инженеров, ученых, организаторов) от Украины и США. По инициативе Госатомрегулирования Украины, в апреле 2000 г. состоялась миссия МАГАТЭ (IPSART) по независимой экспертизе ВАБ первого уровня Южно-Украинской АЭС, которая в целом показала адекватность примененных методик и высокое техническое качество анализов ВАБ.

В итоге, к исходу второго тысячелетия, эксплуатирующей организацией были разработаны базовые ВАБ первого уровня для трех пилотных энергоблоков, представляющих все типы энергоблоков с реакторами ВВЭР, эксплуатируемых в Украине. Разработки выполнены с учетом действующих в Украине нормативных документов, регламентирующих содержание отчетов по безопасности АЭС и на основе международно-признанных методик и стандартов ВАБ. В деятельность по применению ВАБ вовлечены организации технической поддержки как эксплуатирующей организации, так и регулирующего органа. Большое количество украинских специалистов прошло обучение и получило практический опыт в ходе выполнения этих работ. На каждой АЭС созданы подразделения, которые осваивают вероятностные методы и непосредственно участвуют в проведении ВАБ. В Украине сформировался ряд организаций, имеющих опыт выполнения работ в этой области: ГНТЦ ЯРБ, Киевэнергопроект, Энергориск, Международный черновобильский центр, Атомсервис и др. Таким образом, в течение 10 лет была поставлена на поток деятельность по разработке вероятностных анализов безопасности для энергоблоков АЭС Украины (включая новые энергоблоки № 4 Ровенской АЭС и № 2 Хмельницкой АЭС), по расширению объема анализов и усовершенствованию существующих вероятностных моделей для всеобъемлющей оценки реального уровня безопасности украинских АЭС.

Параллельно развивались научно-технические мощности ГНТЦ ЯРБ по выполнению экспертиз и использованию ВАБ для целей регулирования безопасности. В 2001 г. (в рамках сотрудничества КЯР США и Госатомрегулирования Украины, с привлечением практиков ВАБ) была разработана и введена в действие методика технической оценки ВАБ, которая до сих пор используется при государственной экспертизе результатов ВАБ и дорабатывается по мере накопления практического опыта экспертных работ. Специалистами ГНТЦ ЯРБ осваиваются специализированные программные средства (REVEAL, SAPHIRE) и методики ВАБ, ведется постоянная деятельность по повышению квалификации и развитию методологии ВАБ. Например, при активном участии персонала ГНТЦ ЯРБ, начиная с 2004 г. разработана и апробирована на практике методика анализа надежности персонала с применением полномасштабного тренажера. На тренажере энергоблока № 5 Запорожской АЭС по специально разработанным сценариям проведены серии противоаварийных тренировок всех смен АЭС. В результате оценены и учтены при расчете частоты повреждения активной зоны специфичные для Запорожской АЭС вероятности ошибочных или несвоевременных действий оперативного персонала. Такую первую и новаторскую на постсоветском пространстве работу высоко оценили и поддержали зарубежные коллеги на технических совещаниях МАГАТЭ в рамках проекта по гармонизации ВАБ.

Таким образом, была создана начальная инфраструктура, позволяющая вести деятельность по использованию оценок риска при принятии решений по безопасности, и накоплен определенный опыт в области применения вероятностных методов для управления рисками при эксплуатации АЭС (так называемые риск-информированные подходы). Базовым инструментом является ВАБ с адекватным техническим качеством. Без наличия высококачественных вероятностных моделей и, соответственно, доверия к качественным и количественным оценкам безопасности, применение риск-информированных подходов невозможно.

В 2001—2003 гг. коллегия Госатомрегулирования приняла принципиальное решение о применении риск-информированных подходов при эксплуатации и в регулирующей деятельности. Основными целями внедрения таких подходов являются: повышение безопасности АЭС за счет приоритизации работ и соответствующей концентрации ресурсов в тех областях, где высоко влияние на риск; повышение эффективности регулирования за счет сочетания детерминистических и вероятностных подходов; повышение эффективности работы АЭС благодаря снижению избыточной регулирующей нагрузки на лицензиата и оптимальному использованию материально-технических и финансовых ресурсов. Для реализации этих целей в 2003—2006 гг. была введена в действие отраслевая Программа внедрения риск-информированных подходов. Основные критерии принятия решения и принципы внедрения риск-ориентированных подходов были сформулированы специалистами ГНТЦ ЯРБ [17] на основании передовых методик (прежде всего США), отечественного опыта выполнения и применения ВАБ. Предложенные критерии и принципы прошли широкое обсуждение и согласование с регулирующим органом, эксплуатирующей организацией, проектными и другими организациями. На основании этих принципов в отрасли ведутся работы по идентификации дефицитов и проблем безопасности АЭС Украины, анализу достаточности и эффективности компенсирующих мероприятий с точки зрения обеспечения требуемого уровня безопасности энергоблоков и разработке новых мероприятий. Это послужило основой для разработки концепции повышения безопасности на период после 2010 г.

В части применения ВАБ для целей Госатомрегулирования проводится работа по использованию оценок риска в инспекционной деятельности (планирование инспекционной деятельности, оценка влияния на риск повреждения активной зоны недостатков / отклонений, идентифицированных во время инспекций, и др.) и надзорной деятельности [15].

## Выводы

В настоящее время развиты действенные методы вероятностного анализа безопасности, которые способны выявить и устранить избыточный консерватизм регулирующих требований. Международный опыт указывает на принципиальную возможность внедрения методов управления риском (риск-информированные подходы) во всех сферах и направлениях деятельности как регулирующего органа, так и эксплуатирующей организации. Современная философия регулирования безопасности и эксплуатации АЭС, основанная на использовании риск-информированных подходов, позволяет снизить необоснованные на-



грузки на лицензиата и более полно сконцентрировать его усилия на вопросах обеспечения безопасности АЭС, повысить эффективность работы АЭС как предприятий по выработке электрической и тепловой энергии.

На данный момент в нашей стране нет целостной отработанной системы использования риск-информированных подходов, необходимо проводить работы по внедрению данной методологии в практику оценок риска на АЭС Украины. Поэтому можно сформулировать цели проведения дальнейших исследований, которые заключаются в повышении безопасности, надежности и эффективной эксплуатации атомных электростанций, повышении экономической эффективности АЭС (за счет оптимизации объемов работ и расходов по результатам оценок риска). Достижение этой цели обеспечивается разработкой:

базовых принципов и методологических основ управления рисками и применения оценок риска при эксплуатации АЭС;

алгоритма принятия решений относительно безопасности АЭС на основе риск-информированных подходов;

количественных критериев принятия решений;

требований и методических рекомендаций относительно объема, уровня детализации и технической адекватности методов вероятностного анализа безопасности, которые применяются для риск-информированного принятия решений.

#### Список литературы

1. Закон України «Про дозвілну діяльність в галузі використання ядерної енергії».
2. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» // Відомості Верховної Ради. — 1995. — № 12.
3. Reactor Safety Study — An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants: WASH-1400. NUREG-75/014 / United States Nuclear Regulatory Commission — Washington, 1975.
4. Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities: Final Policy Statement. 60 FR 42622 / United States Nuclear Regulatory Commission. — Washington, DC, 1995.
5. The Role of Probabilistic Safety Assessments and Probabilistic Safety Criteria in Nuclear Power Plant Safety // Safety Series. — No. 106. — Vienna: IAEA, 1992.

6. An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis: USNRC Regulatory Guide 1.174 / United States Nuclear Regulatory Commission. — Washington: DC, 1998.

7. PRA Implementation Plan: SECY-97076— / United States Nuclear Regulatory Commission. — April 3, 1997.

8. Risk-Informed Regulation Implementation Plan: SECY-000062— / United States Nuclear Regulatory Commission. — Washington: DC, 2000.

9. Health and Safety at Work Act / UK Health and Safety Executive. — London, 1974.

10. The Tolerability of Risks from Nuclear Power Stations / UK Health and Safety Executive. — London: HMSO, 1988.

11. Safety Assessment Principles for Nuclear Plants / UK Health and Safety Executive. — London: HMSO, 1992.

12. Reducing Risks, Protecting People / UK Health and Safety Executive. — London: HSE Books, 1999.

13. Niehaus, F., Szikszai, T. Risk Informed Decision Making. Topical Issues Paper #1. Proceedings of International Conference on Topical Issues in Nuclear Safety. — Vienna, Austria, 3—6 Sept.2001

14. Versteeg, M.F., van der Borst, M. PSA Supported Severe Accident Management Strategies for the Borssele NPP. PSA'97. Park City, Utah, 1997.

15. Рішення колегії Держатомрегулювання України від 12.09.2005 «Про стан впровадження ризик-орієнтованих підходів в експлуатаційній та регуляторній діяльності».

16. Заключний звіт про виконання державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки за матеріалами, які представлені у Додатку до звіту з аналізу безпеки енергоблоку № 1 ПАЕС «Імовірнісний аналіз безпеки», 0709—4134 / Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки. — 2007.

17. Концепція підвищення безпеки діючих енергоблоків атомних електростанцій. — Утвержд. распоряжением Кабинета Министров Украины № 515-р от 13.12.2005.

Надійшла до редакції 15.06.2011.