



УДК: 621.039

DOI: 10.26277/SECNRS.2022.106.4.002

© 2022. Все права защищены.

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ОЦЕНКАМ РИСКА ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Ивочкин М. Ю.*, канд. физ.-мат. наук (ivochkin@secnrs.ru),

Берг Т. В.* (berg@secnrs.ru),

Бредова В. А.* (bredova@secnrs.ru),

Максеев Р. Е.* (makseev@secnrs.ru),

Любарский А. В.**, канд. техн. наук (Lyubarskiy_AV@aep.ru),

Самохин Г. И.**, канд. техн. наук (Samokhin_GI@aep.ru)

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2022 г.

Аннотация

Кратко рассмотрена роль вероятностного анализа безопасности как метода оценки риска объектов использования атомной энергии (ОИАЭ). Выполнен обзор направлений применения вероятностного анализа безопасности при оценке риска энергоблоков атомных станций и других ОИАЭ, а также действующих в настоящее время нормативных требований к выполнению и содержанию вероятностного анализа безопасности. Сформулированы задачи, решение которых направлено на совершенствование регулирования безопасности ОИАЭ с использованием методов оценки риска.

► **Ключевые слова:** вероятностный анализ безопасности, оценка риска, объект использования атомной энергии, нормативные требования, атомная станция.

* Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия.

** АО «Атомэнергопроект», Москва, Россия.

CURRENT DIRECTIONS FOR IMPROVING REGULATORY REQUIREMENTS FOR RISK ASSESSMENTS OF NUCLEAR FACILITIES

Ivochkin M. Yu.*, Ph. D.,
Berg T. V.*,
Bredova V. A.*,
Makseev R. E.,
Lyubarsky A. V.**, Ph. D.,
Samokhin G. I.**, Ph. D.

Article is received on November 18, 2022

Abstract

The role of probabilistic safety analysis as a risk assessment method of nuclear facilities is briefly considered. The areas of probabilistic safety analysis application in risk assessment of nuclear power plants units and other nuclear facilities as well as the current regulatory requirements for the implementation and content of probabilistic safety analysis have been reviewed. Tasks, which solutions are aimed at improving safety regulation of nuclear facilities using risk assessment, are formulated.

► **Keywords:** *probabilistic safety analysis, risk assessment, nuclear facility, regulatory requirements, nuclear power plant.*

* Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russia.

** JSC “Atomenergoproekt”, Moscow, Russia.

1. Цели и методы анализа риска объектов использования атомной энергии

Анализ риска¹ объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) стал актуальным, прежде всего, вследствие насущной потребности общества и государства во всесторонней комплексной оценке безопасности использования потенциально опасных объектов для населения и окружающей среды. При этом естественным образом встала задача формирования целей применения анализов риска, определения показателей риска и критериев приемлемости риска при оценке безопасности ОИАЭ.

В мировой практике существуют различные методы оценки риска: как качественные, так и количественные. Качественные методы позволяют оценить риск в терминах, характеризующих степень приемлемости риска, таких как «риск неприемлем», «риск большой», «риск незначителен» и т. п. Эти методы используют качественные оценки как последствий, так и вероятностей их возникновения. Количественные методы опираются на математические модели различной степени сложности, разрабатываемые для оценки вероятностей негативных последствий, и позволяют получить результаты в количественном виде (например, набор комбинаций сценариев, приводящих к нежелательным последствиям с оценкой их вероятности как индивидуально, так и в совокупности). Наиболее последовательный, разносторонний и развитый за несколько десятилетий подход к количественной оценке риска ОИАЭ связан с использованием метода вероятностного анализа безопасности (ВАБ) применительно к энергоблокам атомных станций (АС). ВАБ энергоблока АС позволяет оценивать риски, связанные с тяжелыми авариями, а также с большим аварийным выбросом.

¹ Под термином «риск объекта» понимается многофакторная величина, выражающая угрозу, опасность или возможность возникновения вредных или поражающих последствий в результате действительного или потенциального облучения от объекта. Эта величина связана с такими факторами, как вероятность возникновения конкретных негативных последствий, а также масштаб и характер таких последствий. Математически риск может быть представлен в общем случае как множество триплетов $R = \{S_i, p_i, X_i\}$, где S_i – обозначение или описание сценария i , p_i – вероятность этого сценария, а X_i – мера последствия сценария.

Анализ ситуации в России и за рубежом показывает, что современное состояние методологии, программного обеспечения и исходных данных для ВАБ энергоблоков АС и получаемые на его основе результаты позволяют использовать ВАБ не только для количественной оценки вероятностных показателей безопасности, связанных с эксплуатацией энергоблоков АС (суммарная вероятность тяжелых аварий и суммарная вероятность большого аварийного выброса за один год для одного энергоблока АС), но и для более широкого применения (например, при обосновании внесения изменений в проектную и эксплуатационную документацию, анализе значимости для безопасности АС отступлений от требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии (ФНП), обосновании классификации систем (элементов) АС по влиянию на безопасность). В таком прикладном использовании методов ВАБ главным образом заинтересованы организации, являющиеся по закону об использовании атомной энергии [1] эксплуатирующими организациями (ЭО). Для действующих АС в России такой ЭО является АО «Концерн Росэнергоатом».

В контексте изложенного применение ВАБ энергоблока АС со стороны уполномоченного органа государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии (Ростехнадзор) и ЭО (АО «Концерн Росэнергоатом») имеет свои особенности.

Ростехнадзор разрабатывает, утверждает и вводит в действие нормативные правовые акты и нормативные документы, а также осуществляет надзор за обеспечением безопасности ОИАЭ. Научно-техническую поддержку для осуществления деятельности Ростехнадзора в области регулирования безопасности ОИАЭ обеспечивает ФБУ «НТЦ ЯРБ».

ФБУ «НТЦ ЯРБ» совместно со всеми заинтересованными организациями разрабатывает нормативно-методическую базу, выполняет экспертизу документов, обосновывающих безопасность ОИАЭ. В настоящее время при выполнении задач Ростехнадзора в области регулирования безопасности АС ВАБ используется для обоснования безопасности энергоблока АС. ЭО осуществляет деятельность в области использования атомной энергии, в рамках которой обеспечивается разработка и использование ВАБ для оценки эффективности технических и организационных мер, направленных на повышение безопасности энергоблока АС.

2. Нормативно-методическая база для выполнения вероятностного анализа безопасности атомных станций

ВАБ представляет собой признанный во всем мире метод комплексной количественной оценки риска при проектировании, сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации энергоблоков АС.

В 2012 г. Ростехнадзором было опубликовано Заявление о политике по применению вероятностного анализа безопасности и риск-информативных методов для атомных станций [2] (то есть метода, основанного на совместном учете результатов вероятностных и детерминистических исследований). Этим Заявлением поощрялось максимально широкое использование ВАБ и связанного с ВАБ риск-информативного метода в качестве инструментов при обосновании безопасности энергоблоков АС.

Законодательством Российской Федерации в области использования атомной энергии предусмотрено получение ЭО лицензий на различные виды деятельности, в частности, на размещение, сооружение, эксплуатацию, вывод из эксплуатации каждого энергоблока АС. Кроме того, в процессе эксплуатации энергоблока АС предусмотрено каждые десять лет выполнение ЭО периодической оценки безопасности энергоблока АС. При подаче заявления в Ростехнадзор на получение лицензии требуется представление отчетов по ВАБ уровней 1 и 2 в составе документов, обосновывающих ядерную и радиационную безопасность энергоблока АС.

Необходимость выполнения ВАБ энергоблока АС, а также целевые ориентиры вероятностных показателей безопасности энергоблока АС определены требованиями пп. 1.2.9 и 1.2.17 НП-001-15 [3]. Требованиями п. 1.2.17 НП-001-15 установлен целевой ориентир для хранилищ ядерного топлива (не входящих в состав энергоблоков АС), однако для других имеющихся на АС ОИАЭ (например, хранилища свежего топлива, хранилища жидких и твердых радиоактивных отходов) целевые ориентиры в НП-001-15 не установлены.

Существенным этапом нормативного регулирования в области ВАБ явилось введение в действие в 2015 г. после многолетних дискуссий и межведомственных согласований НП-095-15 [4]. Этот документ конкретизирует требования НП-001-15 [3] в части целей, назначения, объема выполнения, исходных данных, состава задач, а также применения ВАБ энергоблока АС и содержит требования к ВАБ уровней 1 и 2 энергоблока АС. Опыт применения НП-095-15 показал, что ряд положений этого

документа требует уточнения и, возможно, понадобится расширение его объема, в частности:

- формулирование требований к последовательности выполнения и объему полномасштабного ВАБ;
- формулирование требований к содержанию отчета по ВАБ (содержание отчета отдельных задач ВАБ сформулировано в соответствующих руководствах по безопасности при использовании атомной энергии (РБ), но отсутствует в ФНП);
- конкретизация требований к сбалансированности проекта с точки зрения основных вкладчиков в риск (аварийных последовательностей, ошибок персонала, отказов оборудования, исходных событий, эксплуатационных состояний);
- введение термина «риск-информативный метод» в действующие ФНП и формулирование требований к использованию «риск-информативного метода при принятии регулирующих решений» в ФНП;
- конкретизация требований к анализу неопределенности, в частности использования интервальных оценок риска (5, 50 и 95 % оценки вероятностных показателей) для анализа результатов ВАБ.

В поддержку положений НП-095-15 [4] Ростехнадзором в настоящее время утверждено несколько РБ [5–9]. Они содержат рекомендации по выполнению ВАБ, которые в большой мере определяют и формируют методическую базу для выполнения полномасштабного ВАБ энергоблока АС.

Требованиями п. 3.1.17 НП-001-15 [3] предусмотрен отдельный, но частично входящий в состав ВАБ, анализ надежности выполнения функций системами, важными для безопасности, а также определение показателей надежности элементов, важных для безопасности. Для этих целей разработано РБ-100-15 [10].

В РБ-101-16 [11] изложен метод оценки влияния на безопасность конструктивных или организационных изменений на энергоблоке АС для принятия «риск-информативного решения» с использованием ВАБ. Изменение считается обоснованным, если одновременно выполняются следующие условия:

- увеличение риска, связанное с изменением, является приемлемым (критерии приемлемости приведены в РБ-101-16 [11]);
- отсутствие негативного влияния изменения на глубокоэшелонированную защиту либо влияние изменения на глубокоэшелонированную защиту оценено как приемлемое;
- отсутствие негативного влияния изменения на физическую защиту АС;

▪ при реализации изменения соблюдаются требования ФНП, иных нормативных документов.

Практический интерес для деятельности как Ростехнадзора, так и АО «Концерн Росэнергоатом» представляет РБ-104-16 [12]. Нарушения, оцененные с использованием вероятностных показателей безопасности, классифицируются по их значимости для безопасности и соотносятся с одной из категорий («малозначимое», «среднезначимое», «высокозначимое»). В зависимости от категории значимости нарушения рекомендуются соответствующие меры реагирования для АО «Концерн Росэнергоатом» и Ростехнадзора.

ВАБ используется также при оценке значимости проблем безопасности. Например, в России, согласно РБ-028-04 [13], для определения степени влияния «проблемы безопасности» на безопасность энергоблока АС используется количественный критерий оценки вероятности возникновения условий наступления радиационных последствий, который определяется на основе результатов ВАБ.

В настоящее время Ростехнадзором запланирован анализ опыта использования представленных выше РБ [14] и внесение в них, при необходимости, соответствующих изменений.

Согласно требованиям п. 2.5 НП-001-15 [3] к системам (элементам), важным для безопасности, относятся «системы (элементы) нормальной эксплуатации, отказ которых нарушает нормальную эксплуатацию АС или препятствует устранению нарушений нормальной эксплуатации АС, если при этом условная вероятность перехода указанного отказа в тяжелую аварию составляет 10^{-6} или более». В качестве инструмента для расчета указанной условной вероятности может использоваться ВАБ, однако РБ по этому направлению в настоящее время отсутствует.

Еще одним потенциально значимым направлением применения ВАБ являются обоснование проекта энергоблока АС и оптимизация процедур его эксплуатации, включая обоснование условий безопасной эксплуатации. В качестве примера можно упомянуть задачу повышения экономических показателей при эксплуатации за счет увеличения периодов тестирования и технического обслуживания оборудования и увеличения времени вывода оборудования в ремонт на мощности без снижения уровня безопасности при эксплуатации энергоблока АС (в соответствии с требованиями п. 1.2.12 НП-001-15 [3] допустимое время вывода элемента из работы для технического обслужива-

ния и ремонта определяется на основе анализа надежности системы, в которую он входит, либо на основе ВАБ).

Важным аспектом использования ВАБ, безусловно, является внедрение на российских АС (например, на Ленинградской и Смоленской АЭС) мониторинга риска², для которого в настоящее время полностью отсутствует нормативная база в Российской Федерации.

Одним из перспективных направлений практического использования ВАБ, с точки зрения Ростехнадзора, является применение его результатов для целей рационального распределения временных и человеческих ресурсов при инспекционной деятельности на АС. В этой области проработана научно-методическая база [15], но практические РБ отсутствуют. Актуальность подготовки таких РБ требует обсуждения.

Завершая обзор имеющихся РБ, следует подчеркнуть актуальность подготовки РБ «зонтичного» (объединяющего) характера под условным названием «Качества ВАБ, необходимые для разных целей применения». В этом РБ будет представлена информация об основных особенностях (атрибутах) модели ВАБ (например, полнота модели, отсутствие консервативных допущений и предположений, использованных при анализе исходных событий, аварийных последовательностей, надежности персонала и анализе данных), которые позволят использовать модель в конкретных приложениях ВАБ. При этом ВАБ имеет соответствующие качества, если указанный ВАБ обладает набором атрибутов, которые подходят для конкретного приложения ВАБ. Аналогом такого документа является IAEA-TECDOC-1804 [16]. Такой документ необходим как Ростехнадзору, так и ЭО, так как позволит создать общую платформу для разработки и экспертизы ВАБ. Желательно, чтобы такое РБ стало плодом совместной разработки широкого круга специалистов от Ростехнадзора до проектных, конструкторских организаций и ЭО.

² Мониторинг риска – инструмент ВАБ, который анализирует информацию о фактической конфигурации энергоблока АС, например, эксплуатационном состоянии энергоблока АС (работа на мощности или один из режимов останова), элементах, выведенных из работы, выборе рабочих и резервных каналов для систем нормальной эксплуатации.

3. Регулирование безопасности объектов использования атомной энергии с учетом информации о риске

Нормативные правовые акты и нормативные документы в области безопасности использования атомной энергии предусматривают использование анализов риска ОИАЭ, однако в разной степени для разных категорий таких объектов.

Инструментарий, нормативная и информационная базы (программы для электронных вычислительных машин (ЭВМ) и исходные данные), используемые для анализа риска энергоблоков АС, в настоящее время можно считать проработанными по результатам практического применения как для целей Ростехнадзора, так и ЭО.

В отношении оценок риска для ОИАЭ, отличных от энергоблоков АС, наблюдается иная картина. Общие положения обеспечения безопасности практически для всех типов ОИАЭ содержат как требования к выполнению ВАБ, являющегося основным методом анализа риска, так и требования к величинам соответствующих вероятностных показателей безопасности. Также имеются отдельные РБ в поддержку указанных требований [17, 18].

Однако на практике для ОИАЭ, отличных от энергоблоков АС, выполнение анализа риска и использование риск-ориентированных методов лишь ограниченно практикуется как Ростехнадзором, так и организациями, эксплуатирующими эти объекты. Причинами такого положения следует признать следующие обстоятельства:

- применение методологии ВАБ в сложившемся для энергоблоков АС виде как интегральный всеобъемлющий анализ с разработкой комплексных логико-вероятностных моделей надежности исследуемого объекта и методов решения отдельных задач, составляющих ВАБ, целесообразно в тех случаях, когда при анализе их безопасности (опасности) следует учитывать большой набор сложных сценариев аварий, потенциально приводящих к значимым последствиям аварий (радиационным последствиям). Обычно это обусловлено имеющимся в проекте энергоблока АС большим комплексом резервирующих друг друга по функциям технологических систем, предназначенных для снижения вероятности реализации таких сценариев. Такое положение зачастую нехарактерно для ОИАЭ других видов;

- сложную в выполнении и затратную по ресурсам (квалифицированные кадры, значительное время выполнения, большой объем необходимой исходной информации) методологию ВАБ энерго-

блока АС логично применять для объектов, имеющих источники радиоактивности, которые потенциально способны нанести в случае аварий существенный ущерб населению. Для таких объектов целесообразно применение иных существующих упрощенных методов оценки риска, включая обоснование физической невозможности объекта привести к неприемлемым радиационным последствиям для населения с точки зрения требований НРБ-99/2009 [19]. Также для таких объектов возможно будет достаточно проанализировать ограниченное количество аварийных сценариев (наиболее консервативных из всех возможных) и на основании выполненного анализа показать соблюдение критериев радиационной безопасности для населения в соответствии с требованиями НРБ-99/2009.

Тем не менее для ряда ОИАЭ, в частности находящихся в непосредственной близости от населенных пунктов (или в них), выполнение анализов риска (включая ВАБ) является необходимым, так как даже незначительный выход радиоактивных продуктов в окружающую среду может привести к неприемлемым радиационным последствиям для населения с точки зрения требований НРБ-99/2009.

Также следует отметить, что построение и детерминистическое обоснование моделей ВАБ всех ОИАЭ должно выполняться с использованием специализированных программ для ЭВМ, которые должны быть аттестованы. Документом, на основании результатов экспертизы которого ФБУ «НТЦ ЯРБ» формирует аттестационный паспорт программы для ЭВМ, является отчет о ее верификации и валидации [20]. Для этих целей в настоящее время в ФБУ «НТЦ ЯРБ» разработано РБ-016-22 [21], которое содержит перечень тестовых задач, используемых для верификации программ для ЭВМ, предназначенных для разработки логико-вероятностных моделей ВАБ различных ОИАЭ.

Заключение

С учетом изложенного можно сделать вывод о том, что наиболее принципиальными задачами совершенствования регулирования безопасности ОИАЭ с использованием анализа риска в настоящее время являются:

1. Для АС:

- установление в НП-001-15 [3] для имеющих на АС ОИАЭ целевых ориентиров безопасности (например, для хранилищ свежего топлива, хранилищ жидких и твердых радиоактивных отходов);

- уточнение и дополнение НП-095-15 [4] с учетом предложений, упомянутых в разделе 2 настоящей статьи;
- корректировка и разработка РБ, рассмотренных в разделе 2 настоящей статьи, при участии АО «Концерн Росэнергоатом» и Ростехнадзора;

2. Для ОИАЭ, не относящихся к АС, – корректировка нормативных документов в части оценки риска и использования риск-информативных решений, а также определение перечня РБ и их разработка.

Литература

1. Об использовании атомной энергии: Федер. закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ.
2. Заявление о политике по применению вероятностного анализа безопасности и риск-информативных методов для атомных станций // Ядерная и радиационная безопасность. 2012. 1 (63). С. 41–45.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП-001-15: утв. приказом Ростехнадзора от 17.12.2015 № 522.
4. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции. НП-095-15: утв. приказом Ростехнадзора от 12.08.2015 № 311.
5. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий. РБ-024-19: утв. приказом Ростехнадзора от 17.07.2019 № 284.
6. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 2 для блока атомной станции. РБ-044-18: утв. приказом Ростехнадзора от 09.08.2018 № 355.
7. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для исходных событий, обусловленных внутривоудочными пожарами и затоплениями. РБ-076-20: утв. приказом Ростехнадзора от 05.10.2020 № 387.
8. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для исходных событий, обусловленных внешними воздействиями. РБ-021-21: утв. приказом Ростехнадзора от 19.05.2021 № 184.
9. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Основные рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для блока атомной станции при исходных событиях, обусловленных сейсмическими воздействиями. РБ-123-17: утв. приказом Ростехнадзора от 01.02.2017 № 33.
10. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных станций, важных для безопасности, и их функций. РБ-100-15: утв. приказом Ростехнадзора от 28.01.2015 № 26.
11. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по применению риск-информативного метода при обосновании риск-информативных решений, связанных с безопасностью блока атомной станции. РБ-101-16: утв. приказом Ростехнадзора от 02.11.2016 № 458.
12. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по использованию вероятностного анализа безопасности при оценке нарушений в работе атомных станций. РБ-104-16: утв. приказом Ростехнадзора от 01.07.2016 № 281.
13. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Анализ несоответствий блока атомной станции требованиям действующих нормативных документов. РБ-028-04: утв. приказом Ростехнадзора от 25.05.2004 № 5.
14. Стратегический план актуализации системы руководств по безопасности при использовании атомной энергии на период 2020–2025 гг. Поручение № 00-03-12-175: утв. Ростехнадзором 25.12.2019.
15. Хижняк С. А., Самохин Г. И., Носков Д. Е., Бредова В. А., Антонов А. В. Применение вероятностного анализа безопасности для планирования инспекций // Ядерная и радиационная безопасность. 2011. № 4 (62). С. 40–43.

16. Attributes of Full Scope Level 1 Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants. TECDOC-1804. IAEA. Vienna, 2016.

17. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности для исследовательских ядерных реакторов. РБ-108-16: утв. приказом Ростехнадзора от 19.02.2016 № 61.

18. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности для хранилищ отработавшего ядерного топлива. РБ-116-17: утв. приказом Ростехнадзора от 10.02.2017 № 51.

19. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47.

20. Порядок проведения экспертизы программ для электронных вычислительных машин, используемых в целях построения расчетных моделей процессов, влияющих на безопасность объектов использования атомной энергии и (или) видов деятельности в области использования атомной энергии: утв. приказом Ростехнадзора от 30.07.2018 № 325.

21. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые тестовые задачи для верификации программ для электронных вычислительных машин, используемых при проведении вероятностного анализа безопасности объектов использования атомной энергии. РБ-016-22: утв. приказом Ростехнадзора от 01.08.2022 № 249.

References

1. Federalnyj zakon “Ob ispol'zovanii atomnoi energii” No. 170-FZ [Federal law no. 170-FZ “On the Use of Atomic Energy”]. 1995.

2. Zayavlenie o politike po primeneniyu veroyatnostnogo analiza bezopasnosti i risk-informativnykh metodov dlya atomnykh stantsii [Policy statement on the application of probabilistic safety analysis and risk-informative methods for nuclear power plants]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, 2012, no. 1 (63), pp. 41–45. [in Russian].

3. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi energii “Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsii” (NP-001-15) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use “General provisions for nuclear power plant safety assurance” (NP-001-15)]. 2015.

4. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi energii “Osnovnye trebovaniya k veroyatnostnomu analizu bezopasnosti bloka atomnoi stantsii” (NP-095-15) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use “Basic requirements for probabilistic safety assessment of a nuclear power plant power unit” (NP-095-15)]. 2015.

5. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii po razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti urovnya 1 bloka atomnoi stantsii dlya vnutrennikh iskhodnykh sobytii” (RB-024-19) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations for the development of a level 1 probabilistic safety analysis of a nuclear power plant unit for internal initiating events” (RB-024-19)]. 2019.

6. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii po razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti urovnya 2 dlya bloka atomnoi stantsii” (RB-044-18) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations for the development of level 2 probabilistic safety analysis for a nuclear power plant unit” (RB-044-18)]. 2018.

7. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii po razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti urovnya 1 bloka atomnoi stantsii dlya iskhodnykh sobytii, obuslovlennykh vnutriploshchadnochnymi pozharemi i zatopeniyami” (RB-076-20) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations for the development of a level 1 probabilistic safety analysis of a nuclear power plant unit for initiating events caused by on-site fires and floods” (RB-076-20)]. 2020.

8. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii po razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti urovnya 1 bloka atomnoi stantsii dlya iskhodnykh sobytii, obuslovlennykh vneshnimi vozdeistviyami” (RB-021-21) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations for the development of level 1 probabilistic safety analysis of a nuclear power plant unit for initiating events due to external impacts” (RB-021-21)]. 2021.

9. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Osnovnye rekomendatsii k razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti urovnya 1 dlya bloka atomnoi stantsii pri iskhodnykh sobyitiyakh, obuslovlennykh seismicheskimi vozdeistviyami” (RB-123-17) [Safety guide in the field of atomic energy use “Basic recommendations for the development of level 1 probabilistic safety analysis for a nuclear power plant unit in seismic initiating events” (RB-123-17)]. 2017.

10. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii po poryadku vypolneniya analiza nadezhnosti sistem i elementov atomnykh stantsii, vazhnykh dlya bezopasnosti, i ikh funktsii” (RB-100-15) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations on the procedure for performing an analysis of the reliability of systems and elements of nuclear power plants important to safety and their functions” (RB-100-15)]. 2015.

11. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii po primeneniyu risk-informativnogo metoda pri obosnovanii risk-informativnykh reshenii, svyazannykh s bezopasnost'yu bloka atomnoi stantsii” (RB-101-16) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations on the use of the risk-informative method in substantiating risk-informative decisions related to the safety of a nuclear power plant unit” (RB-101-16)]. 2016.

12. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii po ispol'zovaniyu veroyatnostnogo analiza bezopasnosti pri otsenke narushenii v rabote atomnykh stantsii” (RB-104-16) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations on the use of probabilistic safety analysis in assessing disturbances in the operation of nuclear power plants” (RB-104-16)]. 2016.

13. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Analiz nesootvetstviy bloka atomnoi stantsii trebovaniyam deistvuyushchikh normativnykh dokumentov” (RB-028-04) [Safety guide in the field of atomic energy use “Analysis of non-compliance of the nuclear power plant unit with the requirements of the current regulatory documents” (RB-028-04)]. 2004.

14. Strategicheskii plan aktualizatsii sistemy rukovodstv po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii na period 2020–2025 gg. [Strategic plan for updating the system of safety guides in the use of atomic energy for the period 2020–2025]. 2019.

15. Khizhnyak S. A., Samokhin G. I., Noskov D. E., Bredova V. A., Antonov A. V. Primenenie veroyatnostnogo analiza bezopasnosti dlya planirovaniya inspektsii [Application of probabilistic safety analysis for planning inspections]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal*, 2011, no. 4 (62), pp. 40–43. [in Russian].

16. Attributes of Full Scope Level 1 Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants. IAEA-TECDOC-1804, Vienna, 2016.

17. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii k razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti dlya issledovatel'skikh yadernykh reaktorov” (RB-108-16) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations for the development of a probabilistic safety analysis for research nuclear reactors” (RB-108-16)]. 2016.

18. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomendatsii k razrabotke veroyatnostnogo analiza bezopasnosti dlya khranilishch otrabotavshego yadernogo topliva” (RB-116-17) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations for the development of a probabilistic safety analysis for spent nuclear fuel storage facilities” (RB-116-17)]. 2017.

19. Normy radiatsionnoi bezopasnosti. NRB-99/2009. Sanitarnye pravila i normativy. SanPiN 2.6.1.2523-09 [Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 “Radiation safety standards NRB-99/2009”]. 2009.

20. Poryadok provedeniya ekspertizy programm dlya elektronnykh vychislitel'nykh mashin, ispol'zuemykh v tselyakh postroeniya raschetnykh modelei protsessov, vliyayushchikh na bezopasnost' ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi energii i (ili) vidov deyatel'nosti v oblasti ispol'zovaniya atomnoi energii [The procedure for conducting an examination of programs for electronic computers used to build calculation models of processes that affect the safety of nuclear facilities and (or) types of activities in the field of nuclear energy use]. Rostekhnadzor, 2018.

21. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi energii “Rekomenduemye testovye zadachi dlya verifikatsii programm dlya elektronnykh vychislitel'nykh mashin, ispol'zuemykh pri provedenii veroyatnostnogo analiza bezopasnosti ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi energii” (RB-016-22) [Safety guide in the field of atomic energy use “Test problems for verification of programs for electronic computers used in probabilistic safety analysis of nuclear facilities” (RB-016-22)]. 2022.

Сведения об авторах

Ивочкин Михаил Юрьевич, заместитель начальника отдела анализов риска, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Берг Татьяна Владимировна, начальник лаборатории вероятностного анализа безопасности отдела анализов риска, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Бредова Валентина Александровна, начальник лаборатории прикладного использования риск-ориентированных подходов в регулирующей деятельности отдела анализов риска, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Максеев Роман Евгеньевич, младший научный сотрудник, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Любарский Артур Вадимович, начальник управления технологии вероятностных оценок безопасности, АО «Атомэнергопроект» (105005, Москва, ул. Бакунинская, д. 7 стр. 1).

Самохин Геннадий Иванович, начальник отдела вероятностного моделирования аварий для внутренних событий, АО «Атомэнергопроект» (105005, Москва, ул. Бакунинская, д. 7 стр. 1).

Authors credentials

Ivochkin Mikhail Yur'evich, Deputy Head of Risk Analysis Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: ivochkin@secnrs.ru.

Berg Tat'yana Vladimirovna, Head of Probabilistic Safety Analysis Laboratory of Risk Analysis Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: berg@secnrs.ru.

Bredova Valentina Aleksandrovna, Head of Laboratory for Applied Use of Risk-Oriented Approaches in Regulatory Activity of Risk Analysis Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: bredova@secnrs.ru.

Makseev Roman Evgen'evich, Junior Researcher of Risk Analysis Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: makseev@secnrs.ru.

Lyubarskiy Artur Vadimovich, Head of the Department of Probabilistic Safety Assessment Technology, JSC "Atomenergoproekt" (7 bld. 1, Bakuninskaya str., Moscow, 105005), e-mail: Lyubarskiy_AV@aep.ru.

Samokhin Gennadii Ivanovich, Head of the Division of Probabilistic Accident Modeling for Internal Events, JSC "Atomenergoproekt" (7 bld. 1, Bakuninskaya str., Moscow, 105005), e-mail: Samokhin_GI@aep.ru.

Для цитирования

Ивочкин М. Ю., Берг Т. В., Бредова В. А., Максеев Р. Е., Любарский А. В., Самохин Г. И. Актуальные направления совершенствования нормативных требований к оценкам риска объектов использования атомной энергии // Ядерная и радиационная безопасность. 2022. № 4 (106). С. 19–28. DOI: 10.26277/SECNRS.2022.106.4.002.

For citation

Ivochkin M. Yu., Berg T. V., Bredova V. A., Makseev R. E., Lyubarskiy A. V., Samokhin G. I. Current directions for improving regulatory requirements for risk assessments of nuclear facilities. Nuclear and Radiation Safety Journal, 2022, no. 4 (106), pp. 19–28. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2022.106.4.002.

