

# ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ МАГАТЭ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

+

*И. В. Марков и А. И. Безсонный*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», г. Снежинск

## Введение

Будущее атомной отрасли во многом зависит от обеспечения ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ), направленной на предотвращение возникновения и минимизацию последствий аварий на ядерно-опасных объектах, а также на защиту персонала и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения.

Однако, после террористических актов 11 сентября 2001 года и последующих террористических актов, которые произошли в последние годы во многих странах мира, повышенное внимание уделяется обеспечению высокого уровня физической ядерной безопасности на объектах атомной инфраструктуры.

Несмотря на то, что многие принципы обеспечения физической и технологической ядерной безопасности являются общими, их практическая реализация может различаться, поскольку они имеют различное происхождение (природу) (техническую и административную). При этом многие элементы или действия по обеспечению такой защиты одновременно служат укреплению технологической и физической ядерной безопасности.

## Сходства и различия между технологической и физической ядерной безопасностью

В глоссарии МАГАТЭ по Технологической Безопасности [IAEA Safety Glossary] даются следующие определения:

• **Технологическая ядерная безопасность:** Обеспечение надлежащих условий

эксплуатации, предотвращение или минимизация последствий аварий для защиты персонала, населения и окружающей среды от нештатных [undue] опасностей радиационного облучения.

• **Физическая ядерная безопасность:** Предотвращение, обнаружение и реагирование на хищения, диверсии, несанкционированный доступ, незаконный оборот или другие злоумышленные действия, связанные с ядерными материалами, другими радиоактивными веществами или связанными с ними объектами (установками).

Эти определения показывают, что несмотря на то, что общей задачей технологической и физической ядерной безопасности является защита персонала и окружающей среды от воздействия ионизирующего излучения, технологическая безопасность в гораздо большей степени ориентирована на контроль тех рисков, которые связаны с эксплуатацией оборудования на ядерно-опасных объектах или с транспортировкой ядерных материалов, в то время как физическая ядерная безопасность нацелена на обеспечение защиты от злонамеренных действий, которые могут повлечь за собой радиационное загрязнение окружающей среды.

Технологическая ядерная безопасность связана с такими рисками радиоактивного излучения, которые могут быть вызваны следующими причинами:

• Внешние природные явления (землетрясения, плохие погодные условия и т.д.) или события, связанные с другими промышленными объектами.

• События на территории ядерно-опасного объекта, вызванные отказом обо-

рудования (в результате пожара, разрыва трубопровода, отключения электропитания и т.д.) или ошибками персонала (неправильное выполнение процедур, неправильная прокладка электрических цепей и т.д.).

Физическая ядерная безопасность связана с рисками преднамеренных действий с целью нанесения ущерба ядерно-опасному объекту в результате хищения или диверсии. Для реализации таких действий злоумышленник должен преодолеть или обойти меры физической защиты (системы мониторинга, контроля доступа, и т.д.) на ядерно-опасном объекте.

### **Оптимизация защиты на основе оценки рисков**

Принцип оптимизации защиты, который применим как к технологической, так и к физической ядерной безопасности, основан на стремлении удержания риска радиоактивного излучения на ядерно-опасных объектах на минимально низком уровне с учетом социальных и экономических факторов. Оценка и повторная оценка всех рисков, включая тех, которые являются результатом злоумышленных действий, должна проводиться с использованием дифференцированного (ранжированного) подхода. [graded approach].

Этот подход предусматривает анализ рисков для персонала и окружающей среды с точки зрения вероятности и степени тяжести потенциальных последствий аварий или злонамеренных действий с целью определения оптимальных мер для их предотвращения и смягчения, которые были бы адекватны этим рискам.

Рассматриваемые риски связаны непосредственно с ядерно-опасным объектом или с теми видами работ, которые на нем проводятся, например:

- Мощность дозы радиоактивного излучения;
- Радиационное загрязнение окружающей среды;

- Образование радиоактивных отходов во время эксплуатации объекта и др.

Идентификация рисков в результате природных явлений, отказов оборудования и ошибок персонала опирается на детерминированные методы (на основе экспертных оценок и практического опыта персонала), которые часто дополняются вероятностными методами. Идентификация рисков в области физической ядерной безопасности обычно является детерминированной, поскольку очень сложно количественно оценить злоумышленные действия в виде вероятностных показателей.

Анализ рисков физической ядерной безопасности проводится на основе так называемой «базовой проектной угрозы» (БПУ) [design basis threat]. БПУ представляет собой описание характерных признаков потенциальных злоумышленников (находящихся либо на самом объекте или за его пределами), для противодействия которым разрабатываются и реализуются меры физической ядерной безопасности.

Поэтому независимо от принятой методологии идентификация и оценка рисков должны выполняться еще на этапе проектирования ядерно-опасного объекта и на протяжении всего периода его эксплуатации. Более того, должна проводиться повторная оценка (переоценка) этих рисков для отражения развития технологии, возможных изменений угроз, а также любых соответствующих изменений требований технологической и (или) физической ядерной безопасности.

### **Обращение с информацией**

В области физической ядерной безопасности обмен информацией должен ограничиваться небольшой и выборочной группой людей для предотвращения попадания чувствительной информации, связанной с мерами защиты или со слабыми сторонами (уязвимостями) ядерно-

опасного объекта, в руки злоумышленников. В этой связи очень важно предпринимать такие меры, чтобы информация о злоумышленных действиях не стимулировала аналогичные действия.

Что касается технологической ядерной безопасности, то в этой сфере наоборот, общим правилом является продвижение транспарентности. Например, очень важно обмениваться опытом и тем самым предотвращать возникновение аналогичных аварий на других ядерно-опасных объектах.

Таким образом, при выполнении общих требований безопасности для той информации, которая относится к технологической безопасности, нужно руководствоваться принципом транспарентности, и при этом обеспечивать конфиденциальность информации, касающейся физической ядерной безопасности.

Более того, специалисты по технологической безопасности могут оказать помощь специалистам по физической ядерной безопасности по определению чувствительных мишеней (целей), поскольку они обладают знаниями о потенциальных последствиях отказа оборудования, которое имеет важное значение с точки зрения технологической безопасности и контроля.

Основные различия между технологической и физической ядерной безопасностью можно проиллюстрировать с помощью табл. 1.

## Стратегия многоуровневой защиты для реализации мер технологической и физической ядерной безопасности

Многоуровневая защита [defense in depth] является фундаментальной концепцией, которая применяется экспертами в области технологической безопасности на этапе проектирования и эксплуатации ядерно-опасного объекта. В контексте физической ядерной безопасности многоуровневая защита включает в себя создание нескольких уровней защиты вокруг потенциальных мишеней (целей) для диверсий или хищений. Этот подход учитывает надежность систем, структур и компонентов путем проектирования систем защиты в соответствии с возможностями злоумышленников, а также рассматривает меры для локализации и ликвидации последствий аварий.

Структурирование защиты в виде последовательности уровней делает современные ядерно-опасные объекты менее уязвимыми для аварий по сравнению с другими промышленными объектами.

### Многоуровневая защита включает в себя следующие основные уровни:

- Сдерживание (предотвращение)
- Раннее обнаружение аварийных ситуаций (злонамеренных действий) и быстрое

Таблица 1

Различия между технологической и физической ядерной безопасностью

	Технологическая ядерная безопасность	Физическая ядерная безопасность
Природа рассматриваемых событий (действий)	Непреднамеренные события (действия)	Преднамеренные действия
Основные рассматриваемые события	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Природные явления</li> <li>• Отказы оборудования</li> <li>• Ошибки персонала</li> </ul>	Злоумышленные действия (хищение, диверсии)
Методология оценки рисков	Детерминированная и вероятностная	Детерминированная на основе БПУ
Отношение к информации	Транспарентность	Ограниченный доступ (конфиденциальность)

реагирование во избежание последующего ущерба.

- Смягчение (минимизация) последствий аварий (злонамеренных действий)

- Планирование мероприятий по ликвидации последствий аварий в случае отказа систем предупреждения, защиты и минимизации ущерба.

Первая линия защиты для физической ядерной безопасности состоит из мер сдерживания, которые должны предотвратить попытку злоумышленника. Например, сдерживание могло бы включать предотвращение доступа к информации, которая необходима для выполнения злоумышленных действий, а также создание систем мониторинга и сбора разведывательных данных, которые позволят предотвратить злонамеренные действия на ядерно-опасном объекте.

Персонал ядерно-опасного объекта и органы государственной власти должны

разработать соответствующие планы по ограничению последствий аварийных ситуаций и злонамеренных действий. Такие планы должны охватывать сценарии, связанные с нарушением как технологической, так и физической ядерной безопасности (так называемые «планы действий при аварийных ситуациях») [contingency plans].

Таким образом, необходимо обеспечить совместимость и взаимное дополнение между планами физической и технологической ядерной безопасности. Поэтому в рамках общего планирования реагирования необходимо обеспечить координацию между специалистами в области технологической и физической ядерной безопасности.

Меры технологической и физической ядерной безопасности, которые можно реализовать на каждом уровне защиты, показаны в табл. 2.

Таблица 2

Обеспечение технологической и физической ядерной безопасности в соответствии со стратегией многоуровневой защиты

Уровни защиты ядерно-опасного объекта	Меры технологической ядерной безопасности	Меры физической ядерной безопасности
Предотвращение (сдерживание)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обоснованный выбор местоположения объекта;</li> <li>• Проектирование объекта с учетом принципа дублирования функций;</li> <li>• Эксплуатация объекта в соответствии с требованиями технических условий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Предотвращение доступа к информации, которая необходима для злоумышленных действий;</li> <li>• Создание системы мониторинга и сбора разведывательных данных;</li> <li>• Защитные барьеры для предотвращения несанкционированного доступа злоумышленников (нарушителей).</li> </ul>
Раннее обнаружение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Контрольно-измерительные системы;</li> <li>• Автоматическая защита и блокировка для предотвращения развития аварии.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Средства обнаружения и контроля;</li> <li>• Аварийная сигнализация и оповещение.</li> </ul>
Контроль и смягчение последствий	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Разработка и выполнение планов действий при аварийных ситуациях ;</li> <li>• Использование всех имеющихся средств для смягчения последствий аварий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Минимизация радиологических последствий диверсий, поиск утерянных ядерных материалов.</li> </ul>
Планирование ликвидации последствий аварий	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Для непреднамеренных событий (сценариев).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В случае злонамеренных действий (сценариев).</li> </ul>

## **Технологическая и физическая ядерная безопасность в течение жизненного цикла ядерно-опасного объекта**

Планирование мероприятий по обеспечению технологической и физической ядерной безопасности проводится на протяжении всего жизненного цикла ядерно-опасного объекта, начиная с этапа определения его будущего местонахождения и кончая его выводением из эксплуатации.

### **Определение местоположения объекта**

Необходимо провести оценку будущего объекта на предмет технологической безопасности путем анализа частоты (периодичности) и тяжести последствий различных внешних природных явлений и техногенных аварий, которые могут негативно повлиять на технологическую безопасность этого объекта. При этом необходимо оценить прогнозируемую эволюцию (развитие) тех факторов, которые могут повлиять на технологическую безопасность на протяжении всего жизненного цикла этого объекта.

Также необходимо провести оценку объекта на предмет физической ядерной безопасности путем рассмотрения его потенциальных уязвимостей по отношению к злоумышленным действиям. Для определенных типов угроз местоположение и планировка объекта могут снизить вероятность злоумышленных действий по отношению к определенным чувствительным (с точки зрения безопасности) зонам этого объекта.

Также необходимо учитывать такие территориальные условия, которые могут оказаться благоприятными для потенциальных злоумышленников, например близость объекта к транспортным магистралям (автомобильным и железным дорогам, аэропортам), а также к промышленным предприятиям и населенным пунктам. Другими такими факторами могут быть наличие в некоторых районах террористической деятельности или нахождение объекта рядом с границей с недружественным государством

или с государством, на территории которого ведется активная террористическая деятельность.

Таким образом, конечный выбор местоположения ядерно-опасного объекта должен проходить с учетом требований технологической и физической ядерной безопасности.

### **Проектирование**

Ядерно-опасные объекты проектируются с использованием принципа многоуровневой защиты для обеспечения технологической и физической ядерной безопасности. Определенные критерии проектирования, которые используются для целей технологической безопасности, могут быть использованы для укрепления физической ядерной безопасности. Например, так называемый «критерий единичного отказа» предусматривает, чтобы ядерно-опасные объекты проектировались с достаточным уровнем избыточности и/или диверсификации для гарантированного поддержания функций технологической безопасности. Согласно этому критерию технологическая безопасность системы должна обеспечиваться даже в том случае, если один комплект оборудования в составе этой системы вышел из строя. Эта особенность проектирования также полезна для функций физической ядерной безопасности, поскольку использование такого критерия означает, что для осуществления выброса радиоактивных материалов на ядерно-опасном объекте злоумышленники должны атаковать сразу несколько целей.

### **Эксплуатация ядерно-опасного объекта**

Эксплуатация объекта должна осуществляться при обязательном выполнении требований технологической и физической ядерной безопасности. Эти требования должны выполняться на протяжении всего срока использования вплоть до вывода из эксплуатации и консервации объекта, т.е. до тех пор, пока на этом объекте находятся ядерные материалы.

Особое внимание выполнению этих требований необходимо уделять в периоды проведения ремонтных работ с целью модернизации объекта. Необходимо внимательно следить за тем, чтобы в ходе таких модернизаций не произошло непреднамеренное или целенаправленное введение уязвимостей в системы технологической и физической безопасности этого объекта.

Основные меры защиты, которые используются при эксплуатации ядерно-опасных объектов и соответствующего оборудования, являются одинаковыми в отношении обеспечения технологической и физической ядерной безопасности:

- Непрерывный (постоянный) мониторинг.

Персонал объекта должен постоянно иметь полную информацию о каждом аспекте функционирования ядерно-опасного объекта, включая те системы, которые ис-

пользуются для целей технологической и физической ядерной безопасности. При этом необходимо регулярно проводить тестирование (контрольную проверку) этих систем и профилактическое техническое обслуживание в случае необходимости.

- Регистрация всех событий связанных с технологической и физической ядерной безопасностью для последующего анализа.

Все события, связанные с отказом оборудования, выявленными аномалиями, ошибками персонала, а также попытками диверсий должны быть зарегистрированы для предотвращения их повторения.

В настоящее время, когда многие ядерно-опасные объекты переходят с аналоговых на цифровые контрольно-измерительные приборы, необходимо уделять особое внимание кибербезопасности, которая предусматривает защиту информационной сети объекта от «жучков» [bugs] в

Таблица 3

Меры технологической и физической ядерной безопасности на различных этапах жизненного цикла ядерно-опасного объекта

	Технологическая ядерная безопасность	Физическая ядерная безопасность
Выбор местоположения объекта	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценка периодичности (частоты) и тяжести последствий природных явлений и техногенных аварий, которые могут повлиять на безопасность объекта;</li> <li>• Оценка практической реализуемости плана ликвидации последствий аварий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценка уязвимости объекта по отношению к злоумышленным действиям;</li> <li>• Оценка близости объекта к границам с недружественным государством, а также наличия террористической деятельности в районе расположения объекта.</li> </ul>
Проектирование объекта	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Реализация принципов многоуровневой защиты, дублирования функций и ранжирования рисков;</li> <li>• Пассивные (автоматизированные) системы для предотвращения ошибок персонала.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Укрепленные бункеры</li> <li>• Защитные барьеры</li> </ul>
Строительство объекта	Контроль за выполнением требований безопасности в ходе строительства	Проверка надежности персонала, задействованного в строительстве объекта
Эксплуатация объекта	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проверка состояния оборудования, техническое обслуживание и ремонт;</li> <li>• Сбор и обмен информацией о всех случаях нарушения требований безопасности на объекте.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Меры контроля доступа (возможны конфликты с мерами технологической безопасности)</li> </ul>

программном обеспечении, а также от хакеров и других злоумышленников.

### **Синергия<sup>1</sup> и конфликты между мерами технологической и физической ядерной безопасности**

Меры технологической и физической ядерной безопасности могут дополнять друг друга, главным образом, в области предотвращения, минимизации и ликвидации последствий непреднамеренных (аварий) и злонамеренных действий (диверсий) с целью радиационного загрязнения окружающей среды.

Методология оценки, смягчения и ликвидации последствий события, результатом которого явилось радиационное загрязнение окружающей среды также является общей для технологической и физической ядерной безопасности независимо от того, является ли это событие природным явлением, ошибкой персонала или злонамеренным действием. И наконец, те меры, которые применяются для защиты от злонамеренных действий и также основаны на требованиях технологической безопасности.

Таким образом, область взаимного дополнения и укрепления технологической и физической ядерной безопасности можно определить в виде следующих направлений:

- Предотвращение непреднамеренных событий и злонамеренных действий с целью радиационного загрязнения окружающей среды

- Методология оценки, смягчения и ликвидации последствий события, результатом которого явилось радиационное загрязнение окружающей среды

- Меры защиты от ошибочных и злонамеренных действий на ядерно-опасном объекте.

Скоординированный подход к решению вопросов технологической и физической ядерной безопасности способствует появлению синергии между этими двумя областями, которую можно проиллюстрировать с помощью следующих примеров:

- Использование пассивных (автоматизированных) систем для предотвращения ошибок персонала может затруднить несанкционированный доступ злоумышленников к этим системам;

- Системы контроля доступа в особо важные зоны ядерно-опасного объекта не только обеспечивают функцию технологической безопасности путем предотвращения или ограничения облучения персонала и контроля доступа квалифицированных специалистов для выполнения регламентных работ, но и одновременно выполняют функцию физической ядерной безопасности путем предотвращения несанкционированного доступа посторонних лиц (нарушителей) на ядерно-опасный объект.

Технические меры для укрепления взаимосвязи между технологической и физической ядерной безопасностью на ядерно-опасном объекте зависят от его конкретных характеристик и особенностей. В частности, операторы атомных электростанций (АЭС) могут рассматривать следующие меры:

- Обеспечение безопасности системы электропитания. Особое внимание следует уделить безопасности резервных источников электропитания (обычно для этой цели используются дизельные генераторы). Аварийные генераторы должны находиться в безопасном месте и защищены от нападения злоумышленников. На случай выхода из строя резервных источников электропитания должен быть обеспечен доступ к мобильным аварийным генераторам, мощности которых будет достаточно для электропитания всех систем охлаждения на этой АЭС.

- Защита системы охлаждения реактора от диверсий. На АЭС должен находиться источник воды для отвода тепла вследствие радиоактивного распада реакторного топли-

---

<sup>1</sup> Синергия – суммирующий эффект взаимодействия двух или более факторов, характеризующийся тем, что их действие существенно превосходит эффект каждого отдельного компонента в виде их простой суммы

ва на случай выхода из строя насосов системы охлаждения.

• Повышение безопасности бассейна для отработанного ядерного топлива (ОЯТ). В случае выхода из строя систем охлаждения бассейны для хранения ОЯТ становятся уязвимыми. Поэтому повышение безопасности этих бассейнов должно быть частью плана мероприятий по укреплению взаимодействия между технологической и физической ядерной безопасностью на ядерно-опасном объекте. В частности, необходимо обеспечить наличие резервных источников воды для охлаждения этих бассейнов. Для минимизации рисков персонал АЭС должен извлекать ОЯТ из этих бассейнов выдержки после охлаждения в течение пяти лет, а затем помещать его на сухое хранение в специальных контейнерах.

Несмотря на общие цели, принципы организации и наличие общих сфер решаемых задач в ряде случаев некоторые меры технологической и физической ядерной безопасности могут противоречить друг другу и тем самым создавать конфликтные ситуации.

Например, для выполнения задач, связанных с технологической ядерной безопасностью, доступ и действия сотрудников служб экстренного реагирования (пожарных, спасателей и др.) на ядерно-опасном объекте не должны быть ограничены, но при этом доступ в те зоны объекта, которые являются чувствительными с точки зрения физической ядерной безопасности, должен быть ограничен и постоянно контролироваться. При этом должна быть обеспечена возможность быстрой эвакуации персонала из этих зон в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Другим примером является мониторинг ядерных материалов, при реализации которого основанные на консервативном подходе меры технологической безопасности предусматривают контроль рисков критичности, в то время как меры физической ядерной безопасности ориентированы на обеспечение максимально точного учета ядерных материалов для контроля рисков их хищения.

При этом необходимо отметить, что требования физической ядерной безопасности должны учитывать такие требования технологической ядерной безопасности как, например, возможность доступа к оборудованию для следующих целей:

- контроль его работы и проведения технического обслуживания
- проверка наличия возможности эвакуации персонала или доступа в рабочие помещения в случае аварии или диверсии.

Правила и процедуры эксплуатации ядерно-опасного объекта должны не только учитывать соответствующие требования технологической и физической ядерной безопасности, но и отражать приемлемый баланс между целями технологической и физической ядерной безопасности. Во многих случаях потенциальные конфликты между этими двумя сферами безопасности могут быть разрешены путем принятия конкретных решений в ходе тесного сотрудничества между специалистами по технологической и физической ядерной безопасности. Если конфликт неизбежен, то сложившуюся ситуацию необходимо рассматривать на основе принципа минимизации общего риска для персонала и местного населения.

## Заключение

Оптимизация различных подходов к технологической и физической ядерной безопасности реализуется путем удержание риска радиационного загрязнения окружающей среды на минимально низком уровне на основе следующих принципов:

- ранжирование рисков с точки зрения вероятности и степени тяжести потенциальных последствий аварий и злонамеренных действий.
- стратегия многоуровневой защиты ядерно-опасного объекта на основе дублирования функций обеспечения безопасности.
- планирование и реализация мер технологической и физической ядерной безопасности на всех этапах жизненного цикла ядерно-опасного объекта.