

ЭВОЛЮЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ



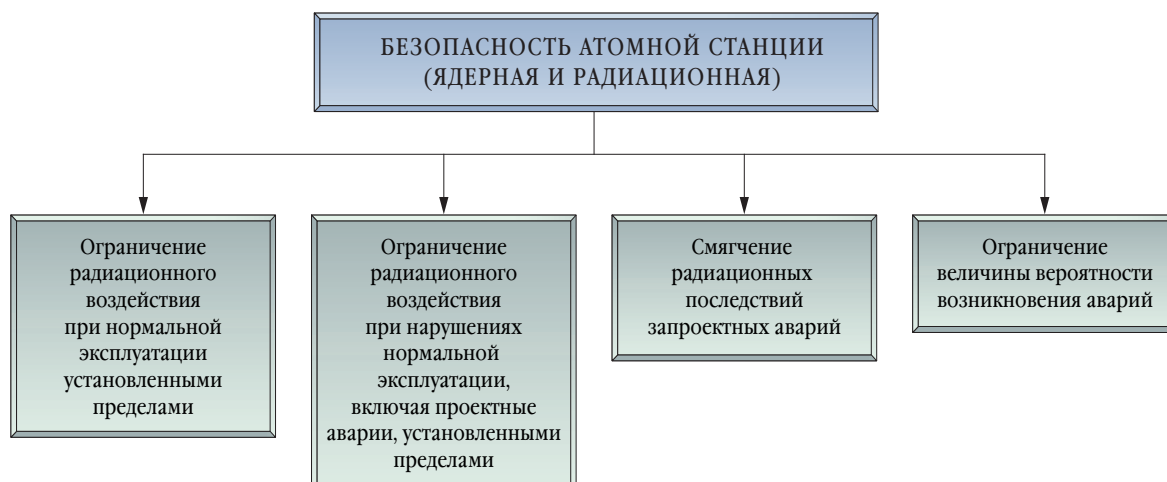
ЗАМЕСТИТЕЛЬ РУКОВОДИТЕЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
Валерий Сергеевич Безубцев

Российская атомная энергетика, история которой началась 27 июня 1954 года с пуском первой промышленной атомной электростанции мощностью 5 МВт в Обнинске, на сегодняшний день насчитывает 33 эксплуатируемых энергоблока с суммарной установленной мощностью 24,2 ГВт, относящихся к различным типам и поколениям. Многие энергоблоки подверглись значительной модернизации, направленной на повышение их безопасности. Осуществляется широко-масштабная программа сооружения новых энергоблоков атомных станций (АС) по современным проектам, с высоким уровнем безопасности.

Эволюционируют и требования к обеспечению безопасности атомных станций. В этом году на рассмотрение специалистов атомной отрасли представлен проект обновленной редакции «Общих положений обеспечения безопасности атомных станций»¹ – системообразующего документа из комплекса федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, регламентирующих безопасность АС. Данные положения были существенно переработаны после чернобыльской аварии в 1988 году. Последний раз этот документ актуализировался в 1997 году – более 15 лет назад. За прошедшее время претерпело существенные изменения российское законодательство как в области использования атомной энергии, так и в смежных областях права. Осуществлены масштабные проекты по повышению безопасности российских атомных блоков, в том числе в рамках продления проектного срока службы, накоплен существенный эксплуатационный опыт

¹ Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97.

1



СВОЙСТВА, СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПОНЯТИЕ «БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНОЙ СТАНЦИИ»

как в Российской Федерации, так и за рубежом, извлечены уроки из произошедших в мире инцидентов и аварий. Эволюционировало понимание подходов к обеспечению безопасности атомных объектов. Международный консенсус в части этих подходов нашел свое отражение в нормах по безопасности Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), которые в последние годы значительно обновились. В частности, в 2011–2012 годах увидели свет два новых стандарта МАГАТЭ по безопасности, относящихся к атомным станциям².

Всё отмеченное выше привело к необходимости обновления «Общих положений обеспечения безопасности атомных станций» и стало побудительным мотивом разработки новой редакции нормативного документа.

Понятие безопасности атомной станции

Безопасность атомной станции, как и ранее, рассматривается только в контексте ядерной и радиационной безопасности (с точки зрения возможного радиационного воздействия АС на персонал, население и окружающую среду). Вместе с тем определение понятия «безопасность» дополнено: к указывавшимся ранее составляющим безопасности (ограничение радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду при нормальной эксплуатации и ее нарушениях, включая проектные аварии, а также снижение такого воздействия при запроектных авариях) добавлена, в соответствии с подходом, принятым в Нормах МАГАТЭ по безопасности³, еще одна – ограничение величины вероятности возникновения аварии. Четыре свойства, составляющих теперь понятие «безопасность атомной станции», проиллюстрированы на рисунке 1.

Необходимость внесения данного уточнения объясняется тем, что атомная станция, которая лишь ограничивает свое радиационное воздействие при нормальной эксплуатации и авариях, не может быть признана безопасной только на основании этого. Если вероятность возникновения аварии на такой АС не является достаточно малой величиной, то она не может считаться безопасной (даже несмотря на то, что аварий в реальности нет, а в случае их возникновения радиационное воздействие будет ограниченным).

² Нормы МАГАТЭ по безопасности. Безопасность атомных электростанций: проектирование. Конкретные требова-

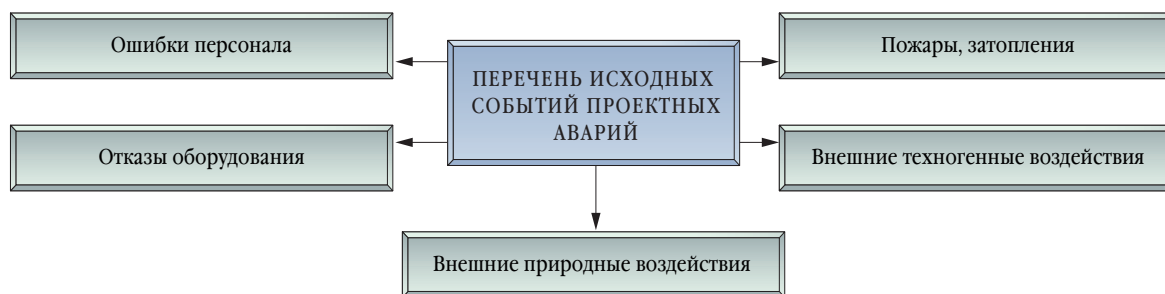
ния безопасности. №SSR-2/1. Вена, 2012; Нормы МАГАТЭ по безопасности. Безопасность атомных электростанций: ввод

в эксплуатацию и эксплуатация. Конкретные требования безопасности. №SSR-2/2. Вена, 2011.

³ Нормы МАГАТЭ по безопасности. основополагающие принципы безопасности. Основы безопасности. №SF-1. Вена, 2007.



2



ВИДЫ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ УЧЕТУ В АНАЛИЗАХ БЕЗОПАСНОСТИ АС

Обоснование безопасности атомной станции

Фундаментом безопасности атомной станции являются выполняемые разработчиками проекта анализы безопасности.

Исторически анализ безопасности атомных станций при нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, выполнялся для экспертно заданного перечня нарушений (так называемых исходных событий проектных аварий), при этом рассматривалась возможность единичного отказа в системах безопасности АС, реагирующих на данное нарушение. Целью анализа была демонстрация того, что радиационное воздействие в результате нарушения (аварии) и иные параметры, характеризующие тяжесть аварии, не превышают установленных пределов.

Впоследствии (и это отражено в действующих в настоящее время нормах и правилах) пришло понимание необходимости выполнения анализа способности АС противостоять также и авариям, не входящим в перечень проектных аварий, то есть потребовалось выполнение вероятностных анализов безопасности (ВАБ) и детерминистических анализов запроектных аварий. По их результатам принимались решения о дополнении проектов АС необходимыми техническими средствами, разрабатывались стратегии по управлению авариями.

В обновленном проекте документа сохранился имевшийся подход, в соответствии с которым анализ безопасности АС должен включать анализ проектных аварий, анализ запроектных аварий, а также вероятностный анализ безопасности. Вместе с тем внесен и ряд важных уточнений. Во-первых, ограничена произвольность выбора исходных событий для анализа проектных аварий: в качестве исходных событий теперь должны рассматриваться все возможные отказы оборудования, ошибки персонала, внешние воздействия (рис. 2). Исключение делается только в отношении событий, для которых показана крайне малая вероятность их возникновения.

Во-вторых, установлено, что в качестве исходных событий проектных аварий могут быть рассмотрены не только единичные отказы элементов АС, ошибки персонала и внешние воздействия, но и, при определенных условиях, их комбинации. Это позволит реализовать подход к обеспечению безопасности АС, при котором ограничение последствий пределами, установленными для проектных аварий, будет обеспечено не только при возникновении экспертно отобранных отказов, ошибок персонала и внешних воздействий, но и для всех такого рода событий и их сочетаний, вероятностью возникновения которых пренебречь нельзя.

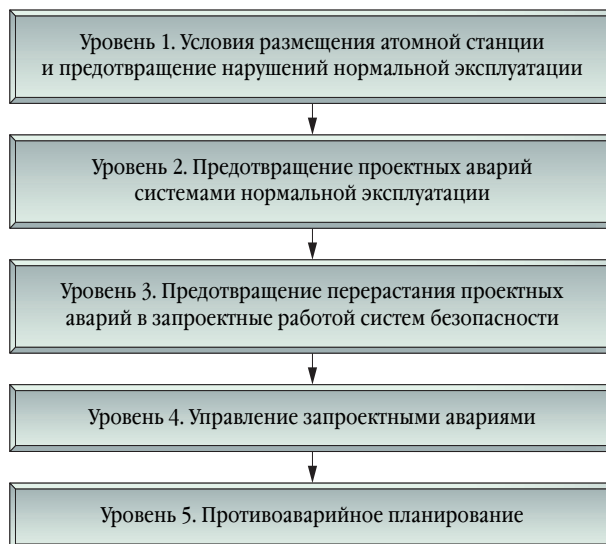
Конкретизировано подразумевавшееся и ранее, но отсутствовавшее в явном виде требование о том, что анализы безопасности должны быть выполнены для всех эксплуатационных состояний АС (работа на мощности, режимы пуска и останова и др.) и учитывать каждое местонахождение ядерных материалов, радиоактивных веществ и отходов.

Также уточнено, что должны выполняться ВАБ двух уровней: в рамках первого уровня исследуется вероятность возникновения тяжелого повреждения топливных элементов, в рамках второго – вероятности различных категорий радиоактивных выбросов атомной станции в окружающую среду.

Необходимость внесения указанных выше уточнений вызвана в том числе уроками, извлеченными из аварии на АС «Фукусима-Дайичи», в соответствии с которыми анализы безо-



3



ПЯТЬ УРОВНЕЙ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ АС

пасности должны быть полными по спектру учитываемых событий и системными по критериям отбора учитываемых событий. Невыполнение для АС «Фукусима-Дайичи» анализа иных, нежели сейсмические, запроектных внешних воздействий в составе ВАБ привело к некорректным выводам из вероятностного анализа безопасности, что, в свою очередь, было одной из причин неадекватной защищенности АС от цунами.

Внесены также и уточнения в требования к анализу проектных аварий. Теперь при определенных условиях в качестве независимого от исходного события единичного отказа, при постулировании которого атомная станция обязана обеспечивать безопасность при проектных авариях, предписано учитывать отказы не только активных (а также пассивных с движущимися частями) элементов систем безопасности, как это требовалось ранее, но и пассивных элементов систем безопасности, не имеющих движущихся частей, вероятностью отказа которых пренебречь нельзя. Установленные уточненные требования гарантируют, что в качестве единичных отказов, налагаемых при анализе на исходное событие проектной аварии, будут рассмотрены все отказы, имеющие значимую вероятность.

В соответствии с международной практикой и изменением российского законодательства⁴ в проект обновленного документа введено требование о том, что каждые 10 лет должна выполняться оценка безопасности блока АС для учета процесса старения оборудования, проведенных модернизаций, опыта эксплуатации, изменения требований нормативных документов и характеристик расположения площадки АС с целью подтверждения возможности продолжения безопасной эксплуатации станции.

Глубокоэшелонированная защита и физические барьеры

Проект обновленного документа, как и действующая редакция, устанавливает, что безопасность АС должна обеспечиваться за счет последовательной реализации концепции глубо-

⁴См. Федеральный закон от 30 ноября 2011 года №347-ФЗ «О внесении в отдельные законодательные акты Российской

Федерации в целях регулирования безопасности в области использования атомной энергии».



4



СИСТЕМА ФИЗИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ НА АТОМНОЙ СТАНЦИИ

коэшелонированной защиты, основанной на применении системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности, а также по защите персонала, населения и окружающей среды. Так же, как и в стандарте по безопасности МАГАТЭ, установлено, что глубокоэшелонированная защита должна образовывать пять уровней (рис. 3). Каждый из последующих уровней защиты задействуется, если в процессе развития нарушения, в том числе аварии, по тем или иным причинам оказались неэффективными предыдущие уровни защиты. Система физических барьеров блока АС включает топливную матрицу, оболочку твэла, границу контура теплоносителя реактора, герметичное ограждение реакторной установки и биологическую защиту (рис. 4).

Стратегия многобарьерной защиты АС является эффективным средством обеспечения ее безопасности только при одновременном соблюдении двух условий – высокой надежности каждого из эшелонов защиты, а также сведения к минимуму возможностей, когда несколько уровней защиты или несколько барьеров оказываются неэффективными (поврежденными) одновременно. Для отражения последнего условия в обновленную редакцию проекта документа введены два новых требования:

- 1) на атомной станции должны быть предприняты все разумно достижимые меры, обеспечивающие независимость уровней глубокоэшелонированной защиты друг от друга;
- 2) в проекте АС должны быть предусмотрены меры, направленные на предотвращение повреждения одних физических барьеров вследствие повреждения других, а также нескольких физических барьеров вследствие одного воздействия.

На выполнение указанных требований направлены следующие меры;

- задействование неодинаковых технических средств на разных уровнях защиты;
- обеспечение защищенности оборудования и систем АС, используемых на последующих уровнях защиты, от воздействий, способных вызвать отказ технических средств, реализующих предыдущий уровень (например, системы, обеспечивающие безопасность атомной станции на втором уровне, могут рассчитывать на меньший объем сейсмического воздействия, чем системы, осуществляющие защиту на третьем или четвертом уровнях);
- применение различного рода защитных приспособлений (например, для защиты герметичного ограждения от воздействия хлыстовых воздействий и летящих предметов, образующихся при авариях с разрывами трубопроводов контура охлаждения реактора).



Управление запроектными авариями

По результатам анализа ЧП на АС «Фукусима-Дайичи» было признано целесообразным более развернуто изложить требования к управлению запроектными авариями.

В дополнение к имевшемуся общему требованию о необходимости иметь технические средства по управлению запроектными авариями установлено, что на атомных станциях обязательно должны быть предусмотрены технические средства, обеспечивающие:

- управление тяжелыми авариями (то есть авариями со значительным повреждением топлива);
- безопасность АС в случае отказа электроснабжения собственных нужд АС как от систем нормальной эксплуатации, так и от систем аварийного электроснабжения, а также при отказе систем нормальной эксплуатации и систем безопасности, осуществляющих отвод тепла от реактора и бассейна выдержки к конечному поглотителю;
- контроль состояния реакторной установки и АС в целом в условиях запроектных, в том числе тяжелых, аварий, а также средства послеаварийного мониторинга.

Следует отметить, что некоторые перечисленные выше технические средства на нескольких российских станциях были и до аварии на «Фукусиме-Дайичи», а в соответствии с планом мероприятий по повышению безопасности отечественных АС, принятым эксплуатирующей организацией ОАО «Концерн Росэнергоатом», оснащение подобными техническими средствами запланировано и частично уже реализовано и для других блоков.

Кроме того, введено новое положение, допускающее осуществлять при тяжелых авариях для избегания еще более тяжелых последствий контролируемый выброс радиоактивных веществ за пределы защитной оболочки. Он допускается только в крайнем случае – когда под угрозу (скажем, из-за превышения давления) поставлена целостность защитной оболочки и при условии принятия мер по обеспечению радиационной безопасности населения, посредством, например, использования системы фильтрации выброса.

Как один из результатов анализа уроков аварии на «Фукусиме-Дайичи» в обновленную редакцию проекта документа включено требование о том, что должна быть показана достаточность имеющихся на атомной станции специальных технических средств для управления запроектными авариями при возникновении аварии на всех блоках данной АС одновременно.

Требования к качеству систем и элементов атомной станции

Чтобы дифференцировать предъявляемые требования к различным элементам АС, в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии прибегают к классификации элементов. При этом используется вертикальная иерархия классов – ранжирование (когда более высокому классу соответствуют более строгие нормативные требования). Правила назначения классов безопасности элементам АС приведены в «Общих положениях обеспечения безопасности атомных станций». В зависимости от назначенного в соответствии с ними класса безопасности устанавливаются, в частности, требования к обеспечению качества элементов АС при их изготовлении и эксплуатации.

На основании накопленного опыта эксплуатации российских атомных станций в обновленном проекте документа уточнены правила назначения классов безопасности для элементов АС, в частности устранены предполагающие неоднозначную трактовку формулировки. Установлен однозначный численный критерий (основанный на величине условной вероятности нарушения нормальной эксплуатации, вызванного отказом классифицируемого элемента, в тяжелую запроектную аварию), в соответствии с которым элементы АС нормальной эксплуатации следует относить

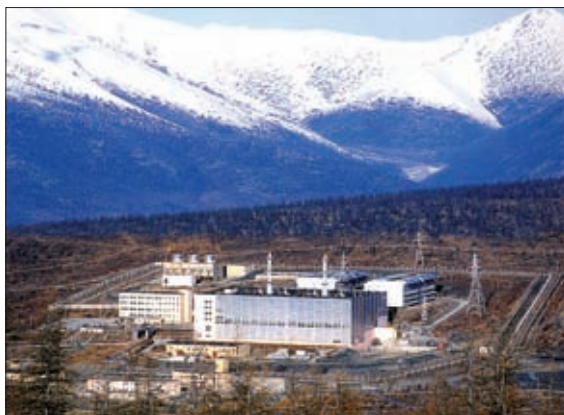


1



БАЛАКОВСКАЯ АЭС

2



БИЛИБИНСКАЯ АЭС

либо к третьему классу безопасности (к элементам данного класса федеральными нормами и правилами предъявляется целый ряд повышенных требований), либо к четвертому (на элементы данного класса распространяются общепромышленные требования). В этом вопросе сделан шаг от экспертного подхода при определении принадлежности элемента к классу безопасности к подходу, основанному на численном анализе.

Изменен подход и к классификации технических средств по управлению запроектными авариями. Если ранее указанные технические средства относились к четвертому классу безопасности, к которому правила не предъявляли никаких повышенных требований, то в обновленной редакции документа эти технические средства (если потребность в их задействовании возникает в течение первых 72 часов после исходного события аварии) отнесены к третьему классу безопасности.

Внесенные изменения в отношении назначения классов безопасности позволяют выстроить систему требований, более полно учитывающую влияние классифицируемых элементов на безопасность АС.

Управляющие системы безопасности

На управляющих системах атомных станций в последнее время стали всё чаще применяться технические средства, основанные на компьютерных технологиях. Проекты новых блоков российских АС предусматривают широкое использование таких технических средств, однако среди норм и правил в области использования атомной энергии отсутствовал документ, устанавливающий требования к таким средствам.

В обновленную редакцию проекта правил, как в документ концептуального уровня, включено указание, что в случае если система, важная для безопасности, реализована с использованием программируемых цифровых устройств, то должны быть установлены и применяться соответствующие нормы, правила и методы для разработки, испытаний и верификации программируемых цифровых устройств и программных средств в течение всего срока службы системы и в особенности в процессе разработки программных средств. При этом должны быть предусмотрены средства защиты от несанкционированного вмешательства в работу программного обеспечения управления АС (кибербезопасность).

В настоящее время ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (организация научно-технической поддержки Ростехнадзора) разрабатывает проекты федеральных норм и правил, содержащие обязательные требования к управляющим системам, основанным на программируемых цифровых устройствах.



3



СМОЛЕНСКАЯ АЭС

4



ЛЕНИНГРАДСКАЯ АЭС

Организационные аспекты обеспечения безопасности

Вся полнота ответственности за обеспечение безопасности атомной станции законодательно возложена на эксплуатирующую организацию. В Российской Федерации это ОАО «Концерн Росэнергоатом». Действующие федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии содержат целый ряд конкретных требований к эксплуатирующей организации. В обновленной редакции проекта документа, в соответствии с нормами МАГАТЭ по безопасности, введены требования к эксплуатирующей организации о необходимости реализации на АС системы управления в целях безопасности, то есть системы, в которой процессы и действия, обеспечивающие выполнение требований по безопасности АС, устанавливаются и осуществляются эксплуатирующей организацией с учетом экономических вопросов, требований к руководителям и персоналу, к охране труда, защите окружающей среды, учету и контролю ядерных материалов, физической защите, качеству работ. Однако реализация указанных аспектов не должна оказывать негативного влияния на безопасность АС.

Значительное развитие в обновленной редакции проекта документа получило понятие «культура безопасности», принятое после чернобыльской аварии. Общеизвестно, что поддержание культуры безопасности у всех лиц, вовлеченных в деятельность, влияющую на безопасность, является необходимым условием обеспечения безопасности станции. На основе накопленного у Ростехнадзора опыта надзорной и инспекционной деятельности и в соответствии с документом МАГАТЭ⁵ в обновленную редакцию документа введены дополнительные требования в части формирования культуры безопасности, в частности такие как:

- установление руководителями всех уровней атмосферы доверия и таких подходов к коллективной работе, а также к социально-бытовым условиям жизни персонала АС, которые способствуют укреплению позитивного отношения к безопасности;
- понимание каждым руководителем и работником недопустимости сокрытия ошибок в своей деятельности, необходимости выявлять и устранять причины их возникновения, необходимости постоянно самосовершенствоваться, изучать и внедрять передовой опыт, в том числе зарубежный;
- установление такой системы поощрений и взысканий по результатам производственной деятельности, которая стимулирует открытость действий работников и не способствует сокрытию ошибок в их работе.

⁵ Культура безопасности. Доклад международной консультатив-

ной группы по ядерной безопасности. 75-INSAG-4. Вена, 1991.



5



РОСТОВСКАЯ АЭС

6



НОВОВОРОНЕЖСКАЯ АЭС

Атомная станция – это человекомашинная система, и эффективно действующий для обеспечения безопасности персонал, воспринимающий безопасность как приоритетное дело и предмет своей личной ответственности, работающий в способствующих обеспечению безопасности условиях, не менее важная составляющая безопасности, чем, скажем, надежно работающее оборудование. На акцентирование этой мысли направлены перечисленные выше изменения к требованиям о формировании культуры безопасности.

Анализ опыта эксплуатации

Общепризнано среди специалистов атомной отрасли, что особое значение имеет эффективный анализ опыта эксплуатации, в том числе и негативного, связанного с отказами, ошибками, инцидентами и авариями. Способность извлекать уроки из имевших место происшествий и своевременно принимать необходимые корректирующие меры – важная составляющая обеспечения безопасности АС. Деятельность по расследованию нарушений в работе атомных станций в России регламентируется федеральными нормами и правилами⁶.

В обновленной редакции проекта документа введено новое понятие – «предвестник тяжелой аварии». Под ним понимается выявленное в ходе эксплуатации отклонение АС от проектных характеристик либо реализовавшееся при эксплуатации событие, которое не привело к тяжелой аварии, но свидетельствует о наличии серьезного недостатка в конструкции оборудования, проекте атомной станции или в ее эксплуатации либо является частью аварийной последовательности, которая могла привести к тяжелой аварии. Новым также является требование, чтобы событиям – предвестникам тяжелых аварий при расследовании было уделено особое внимание, а эксплуатация блока АС на мощности была приостановлена в случае установления, что для имевшего место предвестника условная (ожидаемая) вероятность перехода нарушения в тяжелую аварию составила 10^{-3} или более. Ее возобновление допускается только после выполнения ряда условий.

Таким образом, для деятельности по анализу инцидентов и аварий предлагается введение численного критерия, характеризующего серьезность случившегося нарушения в работе атомной станции с точки зрения возможности его развития в тяжелую аварию, на основании чего эксплуатирующая организация и орган государственного регулирования безопасности могут принять решение, следует ли до полного исследования всех обстоятельств временно приостановить работу блока АС на мощности.

⁶ См., например: Положение о порядке расследования и учета нарушений в работе атомных станций. НП-004-08.



Вывод атомной станции из эксплуатации

Более подробно в обновленной редакции документа изложены аспекты вывода из эксплуатации АС, не имевшие такой актуальности ранее. Установлено, что эти вопросы должны приниматься во внимание на всех стадиях жизненного цикла станции (при размещении, проектировании, сооружении, а также эксплуатации) путем разработки и совершенствования концепции вывода станции из эксплуатации, которая должна быть представлена в отчете по обоснованию безопасности.

Выводы

Эволюционируют представления о том, что такое безопасность атомных станций и как она должна обеспечиваться. Этому способствуют и опыт, который мы приобретаем, и появляющиеся новые знания.

Обновление «Общих положений обеспечения безопасности атомных станций» развивает положения нормативного документа, в соответствии с которым уже более четверти века проектируются и эксплуатируются российские атомные станции. Вместе с тем по многим направлениям сделан шаг вперед, в том числе в части трактовки понятия «безопасность АС», системного подхода к выполнению анализов безопасности, полноты реализации концепции глубокоэшелонированной защиты, культуры безопасности, анализа опыта эксплуатации и других отмеченных выше аспектов. Всестороннее обсуждение в атомной отрасли положений обновленного документа должно стать дополнительным фактором, способствующим его качеству и учету в излагаемом в нем концептуальном подходе на должном уровне всех значимых аспектов обеспечения безопасности атомных станций.