

## **СТАТЬИ**

### **ЛОГИКА РАЗВИТИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ В РОССИИ**

Букринский А.М., заслуженный энергетик России (НТЦ ЯРБ)

Большой интерес, возникший в последнее десятилетие в мировом сообществе к развитию атомной энергетики после длительного моратория, вызванного тяжелыми авариями на Три Майл Айленд в США и Чернобыльской АЭС в Советском Союзе, а также уже начавшееся строительство новых АЭС в ряде стран привели к оживлению деятельности по формированию требований к обеспечению безопасности нового поколения АЭС.

После упомянутых тяжелых аварий и, особенно после чернобыльской, концепция безопасности АЭС как в России, так и в других странах, была коренным образом пересмотрена. В рамках проекта стали рассматриваться аварии, которые раньше считались гипотетическими, т.е. практически невозможными на реальных АЭС. Жизнь опровергла это утверждение, и такие аварии тоже стали учитываться в проекте, несмотря на их малую вероятность.

Был принят разный подход к учету аварий в проекте, в зависимости от их вероятности. Более вероятные аварии, которые могли произойти в случае возникновения исходного события и независимого от него единичного отказа устройства, работа которого требуется для подавления такой аварии, были приняты в качестве проектной основы. Под них разрабатывались системы безопасности так, чтобы ограничить радиационные последствия установленными допустимыми пределами.

Другие, менее вероятные аварии, которые могли возникнуть вследствие исходных событий, не вошедших в проектную основу (непроектных) из-за их малой вероятности, или сопровождающиеся количеством независимых от исходного события отказов более одного (множественные отказы), должны рассматриваться в проекте на предмет разработки организационных или дополнительных технических мер по ограничению их последствий. При этом в [1] для выбора между организационными и техническими мерами был установлен так называемый целевой ориентир в виде вероятности большого выброса радиоактивных веществ в окружающую среду, при котором возникает необходимость эвакуации населения за пределами зоны планирования защитных мероприятий. Если для какого-либо сценария таких аварий, в том числе для аварий с расплавлением ядерного топлива, указанный целевой ориентир не выполняется, то необходимо принять дополнительные технические меры, снижающие вероятность большого выброса. Указанные менее вероятные аварии были названы запроектными, т.е. выходящими за рамки проектной основы.

Для разработки систем безопасности в рамках проектной основы установлен ряд принципов, которые необходимо соблюдать для повышения надежности таких систем и выполнения второго целевого ориентира, а именно, чтобы вероятность повреждения активной зоны выше пределов, установленных для проектных аварий, была ниже указанного целевого ориентира.

Описанная концепция безопасности распространяется как на новые энергоблоки, так и на действующие. Естественно, что возможности для её адекватной реализации на новых энергоблоках значительно больше, чем на действующих. Так, на новых энергоблоках оказалось возможным реализовывать ловушки для расплавленного ядерного топлива с тем, чтобы в случае такой аварии предотвратить проплавление фундамента и выход радиоактивных веществ в окружающую среду.

Широкие возможности повышения безопасности при новом проектировании энергоблоков породили желание внести изменения в описанную выше сложившуюся концепцию безопасности АС. На это направлены некоторые работы таких международных организаций как Европейская организация операторов (The organization European Utility Requirements – EUR) и Западноевропейская ассоциация регуляторов (Western European Nuclear Regulator Association – WENRA). Поскольку эта проблема также затрагивает интересы регулирования ядерной и радиационной безопасности АЭС в России, то с ней следует разобраться более подробно.

#### **Формирование требований по обеспечению безопасности АЭС Европейской организацией операторов**

В конце 1991 г. пять европейских энергогенерирующих компаний объединились в организацию для разработки требований к новым АЭС на основе общего опыта и сотрудничества

(EUR). Первая версия документа EUR, содержащего указанные требования, который можно рассматривать как подробное техническое задание разработчикам и поставщикам станции, версия А, была завершена в марте 1994 г. Документ EUR состоит из 4 томов, три из которых – 1-й, 2-й и 4-й, содержат типовые требования и являются доступными. Один том – 3-й, содержит требования для конкретной АЭС, и его распространение ограничено только организациями, причастными к разработке, строительству и эксплуатации этой АЭС. В настоящее время действует третья версия документа EUR, версия С [2], а состав организации EUR сейчас насчитывает 6 западноевропейских инвесторов и 16 операторов.

Концепция безопасности АЭС, отраженная в требованиях документа EUR, очень похожа на изложенную выше, содержащуюся в [1], что объясняется их общим источником, а именно – документом МАГАТЭ [3]. Тем не менее, есть и различия, некоторые из которых носят технический характер, а другие – принципиальный. К различиям, носящим технический характер, можно, например, отнести разные определения предельно допустимого большого выброса и значения отдельных целевых ориентиров и т.п.

К принципиальным различиям относится то, что в документе EUR, наряду с общими требованиями к запроектным авариям, которые в нем именуется как «расширенные состояния проекта» (Design Extension Conditions), установлены индивидуальные требования для некоторых конкретных типов запроектных аварий с множественными отказами, исходя из текущей лицензионной практики или неопределенностей оценок вероятностей их возникновения. К ним относятся:

- аварии без срабатывания аварийной защиты (ATWS);
- полная потеря источников энергоснабжения (Station Black Out);
- разрыв паропровода, сопровождающийся разрывом трубок парогенератора (Main Steam-Line Break plus consequential Steam-Generator Tube Ruptures, SGTRs);
- байпас защитной оболочки, включая множественный разрыв трубок парогенератора (Containment System Bypass Accidents, including multiple SGTRs).

В [1] таких требований нет, так как в этом случае нарушается общая логика построения концепции. Однако в конкретных проектах АЭС они могут учитываться по настоянию эксплуатирующей организации, которая, в отличие от регулятора, должна заботиться не только о безопасности АЭС, построенной по своему проекту, но и о его конкурентоспособности, в том числе на международном рынке. Немаловажную роль при этом играет вопрос восприятия новых АЭС широкой общественностью.

Представляется, что такие соображения оправдывают наличие указанных требований в документе эксплуатирующих компаний. Что же касается документа, формулирующего требования регулирующего органа, то целесообразность отражения в нем такого же подхода представляется сомнительной. Тем не менее, в недавно вышедшем отчете рабочей группы по гармонизации регулирующих требований западноевропейской ассоциации регуляторов WENRA, посвященном формулированию целей безопасности для новых реакторов, содержатся еще более радикальные предложения. Хотя этот отчет является пока лишь начальным предложением этой группы и не по всем вопросам достигнуто согласие в самой рабочей группе, целесообразно его рассмотреть более подробно, тем более, что некоторые отголоски подобных предложений начали проникать в проекты новых стандартов МАГАТЭ.

### **Отчет рабочей группы по гармонизации регулирующих требований Западноевропейской ассоциации регуляторов**

Рабочая группа по гармонизации регулирующих требований WENRA закончила свою основную работу в 2008 г. выпуском отчета [4], содержащего окончательную редакцию так называемого референтного уровня безопасности ядерных реакторов. Страны-члены ассоциации WENRA должны выверять свои национальные требования относительно этого уровня и вносить изменения для исключения существенных различий там, где таковые будут выявлены.

Рабочей группе было поручено рассмотреть возможность применения сформулированного референтного уровня безопасности к проектам новых реакторов и дать свои предложения. В декабре прошлого года группа выпустила отчет [5], содержащий эти предложения.

Во введении к отчету указывается, что референтный уровень безопасности относится к действующим АЭС и для новых энергоблоков он может оказаться недостаточным в некоторых областях, что для новых реакторов необходимо разработать дополнительные требования.

Возникает вопрос, на какие поколения ядерных реакторов должны распространяться новые требования по безопасности, разрабатываемые регулятором: на все или только на но-

вые? Из сказанного во введении к рассматриваемому отчету складывается впечатление, что, по мнению рабочей группы, – только на новые. Вряд ли можно с этим согласиться, так как это привело бы к полному хаосу в регулирующих требованиях.

Требования по безопасности необходимо периодически пересматривать и повышать с учетом последующего накопления опыта и знаний. Но они должны распространяться на все поколения АС. Совершенно ясно, что не все поколения будут иметь равные условия для реализации новых требований. Легче всего это можно будет выполнить на станциях, сооружаемых по новым проектам. Что же касается более ранних поколений, то для них должен существовать разумный механизм альтернативной реализации разрабатываемых требований.

При сложившейся практике таким механизмом является анализ соответствия энергоблока новым требованиям, а в случае невозможности их реализации в полном объеме оператор должен предложить определенный набор альтернативных компенсирующих мер, позволяющих другим приемлемым способом достичь соответствующего повышения уровня безопасности. Приемлемость и достаточность таких мер в этом случае будет предметом переговоров и согласования между оператором и регулятором.

В предложениях рабочей группы содержится много актуальных и обоснованных предложений, за исключением двух, вызывающих особые возражения. Это трактовка введенного еще в документе [6] понятия «практическое исключение аварий» и предложение по изменению действующей концепции глубокоэшелонированной защиты. Рассмотрим их последовательно.

### **Трактовка понятия «практическое исключение аварий»**

В [1] предусмотрено два принципа исключения: один – детерминистический, представленный в пункте 1.2.14, а другой – вероятностный, представленный в пункте 1.2.17. Первый устанавливает условие, при котором вообще никакие меры по управлению запроектной аварией (технические или организационные) могут не предусматриваться. Такое условие предполагает исключение запроектной аварии на основе внутренних свойств самозащищенности реактора и принципов его устройства. Данный принцип полностью исключает аварию из рассмотрения в проекте. Вторым принципом устанавливается, что вероятность предельного аварийного выброса должна быть ниже  $10^{-7}$  на реактор в год. Это необходимо для того, чтобы избежать эвакуации и других мер по защите населения за пределами зоны планирования противоаварийных мероприятий. Если требование не выполняется, то должны быть приняты дополнительные технические меры по управлению запроектной аварией с целью ослабления ее последствий. Таким образом, второй принцип исключает необходимость разработки дополнительных технических мер. В то же время, организационные меры, такие, например, как управление аварией с целью ограничения её радиационных последствий, или меры по защите населения (5-й уровень глубокоэшелонированной защиты) должны применяться.

В отчете рабочей группы сказано, что для того, чтобы событие считалось практически исключенным, если оно не исключено физически, недостаточно соблюдения некоторого порогового критерия с малой вероятностью. Даже если данный критерий выполняется, нужно предусмотреть дополнительные меры, чтобы сделать вероятность еще меньшей.

При такой постановке вопроса не ясно, где же граница принимаемых дополнительных мер. Никогда нельзя будет доказать, что принятых дополнительных мер достаточно, так как отсутствует соответствующий критерий. По этой причине подход, принятый в [1], следует признать более обоснованным.

### **Предложение по изменению действующей концепции глубокоэшелонированной защиты**

Современная концепция глубокоэшелонированной защиты содержится в документе МАГАТЭ [7], на который в отчете сделана ссылка. Однако в отчете рабочей группы почему-то изменена формулировка цели 4-го уровня глубокоэшелонированной защиты по сравнению с [7] в исторической справке об её развитии. Вместо текста, приведенного в таблице 1 [7] (см. табл. ниже), записано:

«Контроль тяжелых состояний станции, которые явно не рассмотрены в исходном проекте станции, действующей в настоящее время, в связи с их очень низкой вероятностью».

Уровни глубокоэшелонированной защиты (INSAG-10) [7]

Уровни глубокоэшелонированной защиты	Цель	Необходимые средства
Уровень 1	Предотвращение нарушений нормальной эксплуатации и отказов	Консервативный проект и высокое качество строительства и эксплуатации
Уровень 2	Контроль нарушений нормальной эксплуатации и обнаружение отказов	Системы контроля и управления, технологические защиты и блокировки, защитные системы безопасности и другие средства контроля
Уровень 3	Удержание аварий в рамках проектной основы	Инженерно-технические средства безопасности и аварийные процедуры
Уровень 4	Контроль тяжелых состояний станции, включая предотвращение развития аварии и ослабление последствий тяжелых аварий	Дополнительные меры и управление аварией
Уровень 5	Ослабление радиологических последствий значительных выбросов радиоактивных материалов	Аварийное реагирование за пределами площадки

Если формулировка [7], как это видно из таблицы, носит общий характер, то приведенная в отчете формулировка привязана к действующим станциям.

Кроме того, в представленной в отчете таблице, раскрывающей уровни глубокоэшелонированной защиты, в отличие от Таблицы 1 [7], добавлены еще две колонки, которых нет в первоисточнике. При этом первая колонка относит первые три уровня глубокоэшелонированной защиты к первоначальному проекту, а в пятой колонке описываются состояния станции, хотя они и так ясны из содержания второй колонки Таблицы 1 [7].

Далее предлагаются следующие изменения концепции глубокоэшелонированной защиты.

1. Третий уровень разделяется на два подуровня. Первый подуровень соответствует прежнему третьему уровню и предусматривает удержание под контролем проектных аварий в рамках проектной основы. Второй – предусматривает включение в рамки проектной основы некоторых сценариев с множественными отказами, которые в действующей концепции глубокоэшелонированной защиты относятся к запроектным авариям, т.е. не входят в рамки проектной основы.
2. Четвертый уровень также частично включается в проектную основу. Это относится к постулированной аварии с расплавлением топлива.
3. Добавленная первая колонка таблицы, раскрывающей концепцию глубокоэшелонированной защиты, теперь относит к первоначальному проекту (т.е. к тому, что меры реализуются в проекте, а не путем реконструкции действующих станций) четыре уровня глубокоэшелонированной защиты.

Все эти предложения представляются неприемлемыми в качестве регулирующих требований, ибо они лишают их системности, имеющейся сейчас в действующих нормативных документах, и исходят из допустимости разных требований для разных поколений реакторов. Подобные предложения, но в форме, принятой в документе EUR, как указывалось выше, могут быть приемлемыми для операторов. Для регуляторов же концепцию глубокоэшелонированной защиты следует сохранить в прежнем, классическом, виде.

### **Перспективы совершенствования регулирующих требований, представленных в [1]**

Документ [1] действует в России более десяти лет, начиная с июля 1998 г. Опыт лицензирования за это время действующих энергоблоков после их модернизации и новых АЭС показал эффективность [1] как важного фактора, стимулирующего разработчиков и эксплуатирующие организации к повышению безопасности АЭС.

Анализ документа [1] и сравнение содержащихся в нем требований с соответствующими действующими стандартами МАГАТЭ, а также с референтным уровнем безопасности, разработанным WENRA, выполненные в работе [8], показали, что российские требования к безопасности АЭС, в основном, соответствуют требованиям стандартов МАГАТЭ. Вместе с тем, выявлены положения, которые в дальнейшем можно было бы откорректировать для повышения гармонизации российских нормативных документов со стандартами МАГАТЭ.

Опыт применения [1] показал, что важную роль для повышения безопасности АЭС играет вероятностный анализ безопасности (ВАБ), применение которого регламентировано [1]. Введенные в [1] целевые ориентиры в виде вероятности тяжелых запроектных аварий  $10^{-5}$  и вероятности предельного аварийного выброса  $10^{-7}$ , требующего эвакуации населения за пределами зоны планирования защитных мероприятий, которые были приняты более жесткими, чем рекомендовалось в [3], полностью себя оправдали.

Учитывая такой положительный опыт, можно заключить, что дальнейшее совершенствование регулирующих требований, представленных в [1], должно вестись в направлении перевода указанных выше целевых ориентиров в критерии. Однако для того, чтобы можно было обоснованно судить о выполнении данных критериев, необходимо нормировать инструменты их определения, т.е. ВАБ. Непростая задача, но на современном уровне развития ВАБ вполне разрешимая. Именно на это следует направить усилия регуляторов и операторов с целью дальнейшего совершенствования [1]. До решения такой задачи пересмотр [1] был бы преждевременным.

Есть еще одна причина, по которой [1] пока не следует пересматривать, – отсутствие федерального закона о регулировании ядерной и радиационной безопасности. Атомный надзор оказался единственной областью надзора за опасными видами деятельности, которая не регламентирована законодательно, хотя этого требуют принятые Россией международные конвенции: Конвенция о ядерной безопасности и Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами.

По пожарной безопасности есть соответствующий федеральный закон, по промышленной безопасности – тоже, а по атомному надзору такой закон отсутствует. Причина этого, неоднократно упоминавшаяся в печати, – отрицательная позиция Росатома, которую почему-то руководство страны не может преодолеть. При нынешнем положении атомного надзора, когда в результате административной реформы он лишен полномочий разрабатывать обязательные для исполнения требования, лучше не пересматривать действующие нормы и правила, памятуя о печальном опыте отмены обязательности ГОСТов с целью замены их техническими регламентами.

### **Литература**

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций», ОПБ-88/97. М.: Госатомнадзор России, 1997.
2. European Utilities Requirements for LWR nuclear power plants, Rev C, 2001 ([www.europeanutilityrequirements.org](http://www.europeanutilityrequirements.org)).
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3. A report by the International Nuclear Safety Advisory Group. IAEA, Vienna, 1988.
4. RHWG, Harmonization of Reactor Safety in WENRA Countries. Report by WENRA Reactor Harmonization Working Group – 2008.
5. RHWG, Safety Objectives for New Power Reactors. Report by WENRA Reactor Harmonization Working Group, December 2009.
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, INSAG-12, Rev. 1 of 75-INSAG-3. A report by the International Nuclear Safety Advisory Group. IAEA, Vienna, 1999.
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Defense in depth in nuclear safety, INSAG-10, 1996.
8. Букринский А.М. Безопасность атомных станций по федеральным нормам и правилам России и стандартам МАГАТЭ (Сравнение основных принципов и требований по обеспечению безопасности) М.: НТЦ ЯРБ, 2007.