ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

УТВЕРЖДЕНЫ
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 13 августа 2018 г. № 359

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

«РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ОКОНЧАТЕЛЬНОГО ПЕРЕЧНЯ ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ УЧЕТУ В ПРОЕКТЕ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР» РБ-150-18

Введены в действие
с 13 августа 2018 года

Москва 2018

gost.e-ecolog.ru

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию окончательного перечня запроектных аварий, подлежащих учету в проекте атомных станций с реакторами типа ВВЭР» (РБ-150-18)

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору

Москва, 2018

Настоящее руководство по безопасности при использовании атомной энергии разработано в соответствии со статьей 6 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» в целях содействия соблюдению требований пунктов 1.2.9, 1.2.16 федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15), утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522.

Руководство по безопасности содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по формированию окончательного перечня запроектных аварий, представляемого в отчете по обоснованию безопасности блока АС с реактором типа ВВЭР.

Выпускается впервые.[1]

[1] Текст Руководства по безопасности подготовил Ланкин М.Ю., к.т.н.

I. Общие положения

1.1. Настоящее руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию окончательного перечня запроектных аварий, подлежащих учету в проекте атомных станций с реакторами типа ВВЭР» (РБ-150-18) (далее – Руководство по безопасности) разработано в соответствии со статьей 6 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» в целях содействия соблюдению требований пунктов 1.2.9, 1.2.16 федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15), утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522 (зарегистрирован Минюстом России 2 февраля 2016 г., регистрационный № 40939).

1.2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по формированию окончательного перечня запроектных аварий, представляемого в отчете по обоснованию безопасности блока АС с реактором типа ВВЭР.

1.3. Требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии к формированию окончательного перечня запроектных аварий могут быть выполнены с использованием иных способов (методов), чем те, которые содержатся в настоящем Руководстве по безопасности, при обоснованности выбранных способов (методов) для обеспечения безопасности.

1.4. Используемые обозначения и сокращения приведены в приложении № 1, термины и определения – в приложении № 2 к настоящему Руководству по безопасности.

II. Порядок формирования окончательного перечня запроектных аварий

2.1. Требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии. Цели составления окончательного перечня ЗПА

2.1.1. В федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопас-

ности атомных станций» установлены следующие требования к формированию окончательного перечня запроектных аварий:

окончательный перечень запроектных аварий включает тяжелые аварии, а также аварии, не относящиеся к тяжелым ***(требование охвата тяжёлых аварий и аварий, не относящихся к тяжёлым);***

окончательный перечень запроектных аварий приводится в ООБ АС ***(требование включения перечня ЗПА в ООБ АС)***[2];

окончательный перечень запроектных аварий включает представительные сценарии для определения мер по управлению такими авариями (***требование представительности***);

в ООБ АС представляется анализ запроектных аварий, включенных в окончательный перечень запроектных аварий. Указанные анализы учитывают все эксплуатационные состояния АС (***требование охвата всех эксплуатационных состояний)***, а также все места нахождения на блоке АС ядерных материалов, РВ и РАО, в которых может возникнуть нарушение нормальной эксплуатации АС ***(требование охвата всех мест возможного возникновения аварии).*** Места нахождения ЯМ, РВ и РАО на АС, не относящиеся к блоку АС, для которого формируется окончательный перечень запроектных аварий, не учитываются;

анализы ЗПА, приведенные в ООБ АС для аварий, входящих в окончательный перечень ЗПА, являются основной для составления планов мероприятий по защите персонала и населения в случае аварии, а также для составления руководства по управлению запроектными авариями ***(требование разработки противоаварийной документации на основании ООБ АС)***.

2.1.2. Реализация требования представительности обеспечивается посредством учета в перечне ЗПА уровней тяжести состояния АС и, кроме того, возможных состояний работоспособности

---

[2] Понятие «окончательный перечень запроектных аварий» (в отличие от примерных перечней запроектных аварий, устанавливаемых, в соответствии с положениями п.1.2.16 «Общих положений обеспечения безопасности атомных станций», в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии для каждого типа реакторов) означает перечень запроектных аварий, составленный (сформированный) специально для конкретного блока АС с учетом специфических особенностей данного блока АС.

или неработоспособности систем безопасности и специальных технических средств для управления запроектными авариями.

2.1.3. В соответствии с указанным в пункте 2.1.1 настоящего Руководства по безопасности требованием разработки противоаварийной документации на основании ООБ АС, основной целью разработки окончательного перечня ЗПА является последующая, базирующаяся на основе выполненного анализа аварий, входящих в упомянутый перечень, разработка (составление) руководства по управлению запроектными авариями (а также планов мероприятий по защите персонала и населения).

2.1.4. Соответствие перечня аварий, включаемых в окончательный перечень ЗПА, формируемый в соответствии с требованиями «Общих положений обеспечения безопасности атомных станций», и сценариев запроектных условий (DEC), учитываемых в проекте АС в соответствии с положениями норм безопасности МАГАТЭ, требованиями WENRA и EUR, поясняется в Приложении № 3 к настоящему Руководству по безопасности.

2.2. Этапы формирования окончательного перечня запроектных аварий

2.2.1. Формирование окончательного перечня запроектных аварий осуществляется в пять этапов:

Этап 1. Составление списка мест возможного возникновения аварии

Этап 2. Составление перечня эксплуатационных состояний АС

Этап 3. Отбор исходных событий аварий

Этап 4. Установление подлежащих включению в окончательный перечень запроектных аварий сценариев аварий, не относящихся к тяжелым авариям

Этап 5. Установление подлежащих включению в окончательный перечень запроектных аварий сценариев тяжёлых аварий.

Общий алгоритм формирования окончательного перечня запроектных аварий с указанием последовательности выполнения перечисленных выше в настоящем пункте этапов представлен в Приложении № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

2.3. Этап 1. Составление списка мест возможного возникновения аварии

2.3.1. Целью этапа 1 является установление всех мест на блоке АС, в которых может иметь место событие, подпадающее под определение «аварии на АС» (тем самым выполняется требование охвата всех мест возможного возникновения аварии).

Устанавливаются все места в пределах блока АС, где могут находиться (в том числе, храниться или транспортироваться) ядерные материалы (включая свежее и отработавшее ядерное топливо), радиоактивные вещества и радиоактивные отходы, либо генерироваться ионизирующее излучение. К таким местам могут относиться реакторная установка, входящие в состав блока АС хранилища свежего и отработавшего ядерного топлива, транспортные чехлы, транспортные упаковочные комплекты (в том числе, внутристанционные), установки, использующие РВ и генерирующее ИИ, входящие в состав блока АС хранилища жидких и твёрдых РАО, установки по переработке РАО и другие.

2.3.2. Относительно каждого из мест, установленных в соответствии с пунктом 2.3.1 настоящего Руководства по безопасности, исследуется возможность возникновения в нём события, подпадающего под определение «аварии на АС», то есть устанавливается, находятся ли ЯМ, РВ или РАО в рассматриваемом месте в количестве, достаточном для того, чтобы событие с их выходом за установленные проектом АС границы могло привести к превышению пределов безопасной эксплуатации. Для мест, где генерируется ИИ, устанавливается, возможен ли при нарушении нормальной эксплуатации выход ИИ за установленные проектом АС границы, подпадающий под определение «аварии на АС». Составляется список мест возможного возникновения аварии, в который не включаются места нахождения ЯМ, РВ или РАО (а также места, где генерируется ИИ), относительно которых установлено, что в них не может произойти нарушение в работе АС, подпадающее под определение «аварии на АС».

2.4. Этап 2. Составление перечня эксплуатационных состояний АС

2.4.1. На этапе 2 с целью выполнение требования охвата всех эксплуатационных состояний для каждого из мест возможного возникновения аварии, вошедших в список, составленный по ре-

зультатам этапа 1 в соответствии с разделом 2.3 настоящего Руководства по безопасности, составляется перечень возможных эксплуатационных состояний АС.

Для реакторной установки к таким состояниям могут относиться: работа на полном и пониженных уровнях мощности (включая минимально-контролируемый уровень мощности), различные эксплуатационные состояния блока АС с реактором, находящимся в подкритическом состоянии (например, «горячее» состояние, «холодное» состояние, состояние «останов для ремонта», состояние «останов для перегрузки топлива»). Для хранилищ ядерного топлива в качестве самостоятельных эксплуатационных состояний могут рассматриваться состояния с разным количеством хранимого ядерного топлива (например, эксплуатационное состояние с одноярусным хранением ОЯТ в бассейне выдержки и эксплуатационное состояние с двухярусным хранением ядерного топлива), также в отдельное эксплуатационное состояние может выделяться состояние, при котором с хранимым топливом осуществляются транспортно-технологические операции (перегрузка, загрузка, выгрузка).

2.4.2. Перечень эксплуатационных состояний АС составляется с соблюдением следующих условий:

а) каждое из эксплуатационных состояний, включаемых в перечень эксплуатационных состояний АС, имеет отличия от любого другого входящего в указанный перечень эксплуатационного состояния либо по набору возможных в эксплуатационном состоянии нарушений нормальной эксплуатации (исходных событий аварий), либо по состоянию физических барьеров (например, первый контур может быть уплотнен, а может быть разуплотнен, ГО реакторной установки может быть герметично, а может быть разгерметизировано), либо по содержащимся в технологическом регламенте эксплуатации блока АС требованиям к работоспособности или неработоспособности систем (элементов) АС, выполняющих функции безопасности (систем безопасности, специальных технических средств по управлению ЗПА, а также иных систем, выполняющих функции безопасности).

б) любое возможное, в соответствии с технологическим регламентом эксплуатации блока АС, при нормальной эксплуатации состояние АС или эксплуатационный режим входит в одно

из эксплуатационных состояний АС, представляемых в разрабатываемом на настоящем Этапе 2 перечне эксплуатационных состояний АС.

2.4.3. Рекомендуется при составлении перечня эксплуатационных состояний АС использовать разработанный для блока АС вероятностный анализ безопасности первого уровня, а при отсутствии такого анализа (либо при неполноте учета в ВАБ эксплуатационных состояний АС) – проанализировать требования технологического регламента эксплуатации блока АС.

2.4.4. Пример составления перечня эксплуатационных состояний для реакторной установки в зависимости от возможных ИС аварий, а также состояния физических барьеров и систем АС, выполняющих ФБ, проиллюстрирован на рисунке 1.

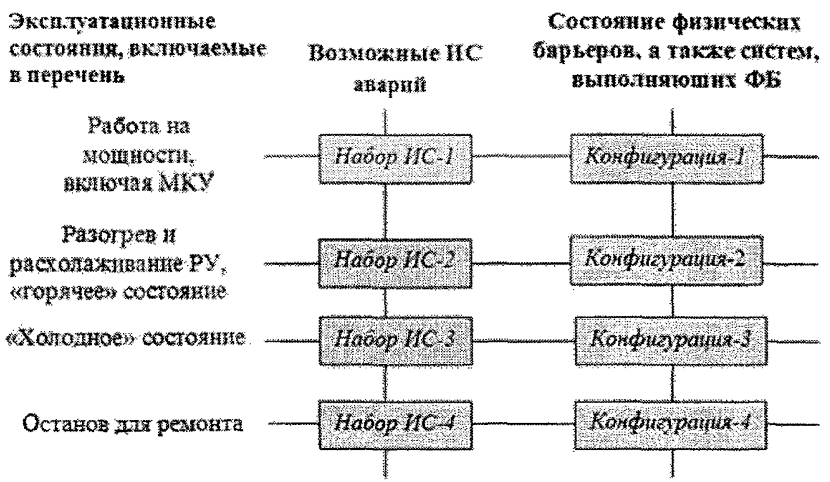


Рисунок 1. Пример составления перечня эксплуатационных состояний АС для реакторной установки в зависимости от возможных ИС аварий, а также состояния физических барьеров и систем АС, выполняющих ФБ

2.5. Этап 3. Отбор исходных событий аварий

2.5.1. На этапе 3 производится отбор исходных событий аварий – формируется набор исходных событий аварий для каждого из мест возможного возникновения аварии, вошедших в список, составляемый в соответствии с положениями раздела 2.3 настоя-

щего Руководства по безопасности и для каждого из эксплуатационных состояний АС, входящих в перечень, составляемый в соответствии с разделом 2.4 настоящего Руководства по безопасности.

2.5.2. В набор исходных событий аварий включаются: внутренние события (события, связанные с отказами элементов АС, в том числе с отказами элементов АС по общим причинам, а также с ошибками персонала); события, связанные с внутриплощадочными пожарами, внутриплощадочными затоплениями; события, связанные с внешними воздействиями природного и техногенного характера, которые отвечают следующим условиям:

а) событие нарушает нормальную эксплуатацию АС;

б) событие требует реакции со стороны систем (элементов) АС и (или) персонала АС для предотвращения перехода события в аварию, либо непосредственно приводит к аварии.

Включению в набор исходных событий аварий подлежат как исходные события проектных аварий (впоследствии в окончательном перечне ЗПА такие события присутствуют только в комбинации с дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами элементов систем безопасности сверх единичного отказа – см. шаги 6, 8 пункта 2.6.2 настоящего Руководства по безопасности), так и исходные события, не учитываемые для проектных аварий.

2.5.3. При наличии ВАБ блока АС, для которого разрабатывается окончательный перечень запроектных аварий, рассматриваемые в рамках указанного ВАБ исходные события рекомендуется включать в составляемый в рамках настоящего этапа 3 набор исходных событий аварий.

Дополнительно в упомянутый набор исходных событий включаются отвечающие условиям, указанным в пункте 2.5.2 настоящего Руководства по безопасности, события, исключенные из рассмотрения в ВАБ на основании низкой вероятности возникновения, если такие события требуют от систем (элементов) АС и (или) персонала АС действий по управлению авариями, которые отличаются от действий по управлению иными авариями, учитываемыми в окончательном перечне ЗПА. Должно быть уделено внимание надлежащему включению в набор исходных событий аварий отказов по общим причинам.

2.5.4. Для определения внутренних событий, подлежащих включению в набор исходных событий аварий, рекомендуется совместное использование следующих методов:

анализ отказов и их последствий для систем и элементов АС. В ходе указанного анализа последовательно система за системой качественно анализируется влияние различных видов отказов элементов или групп элементов, входящих в систему, на нормальную эксплуатацию АС (анализируются отказы при работе элементов АС, в том числе отказы типа самопроизвольного срабатывания, а также отказы на требование, в том числе отказы на открытие и закрытие, отказы на изменение положения, отказы на запуск. Анализируются также отказы по общим причинам);

использование списков ИС из ранее выполненных анализов безопасности, в том числе из ВАБ для анализируемого и схожих блоков АС, а также из обобщённых списков ИС из авторитетных зарубежных и международных источников;

анализ опыта эксплуатации анализируемого и аналогичного блоков АС.

2.5.5. Для определения событий внутриплощадочных пожаров (внутриплощадочных затоплений), подлежащих включению в набор исходных событий аварий, рекомендуется:

выделять пожарные зоны (зоны затоплений) таким образом, чтобы каждая из них соответствовала определению пожарной зоны (зоны затопления), представленному в Приложении № 2 к настоящему Руководству по безопасности. При этом не допускается, чтобы одна выделенная пожарная зона (зона затопления) включала помещения, относящиеся также и к другой пожарной зоне (зоне затопления). Также не допускается, чтобы вне выделенной совокупности пожарных зон (зон затопления) оставались системы и элементы, важные для безопасности;

постулировать возникновение пожара (затопления) поочередно в каждой из выделенных зон и анализировать влияние такого пожара (затопления) на безопасность АС (в предположении, что всё оборудование (иные элементы АС), находящееся в соответствующей зоне, отказывает). Внутриплощадочные пожары (внутриплощадочные затопления) в тех пожарных зонах (зонах затоплений), которые удовлетворяют указанным в пункте 2.5.2

настоящего Руководства по безопасности условиям, включаются в набор исходных событий аварий;

на основании опыта эксплуатации АС как анализируемой, так и других АС, в том числе, зарубежных (возможно, кроме того, привлечение иных источников информации – например, результатов ВАБ пожаров и анализа влияния пожаров на безопасный останов) оценивать также возможность возникновения пожаров сразу в нескольких пожарных зонах одновременно и при принятии решения о возможности возникновения таких событий анализировать их влияние на безопасность АС и, в случае, если они удовлетворяют указанным в пункте 2.5.2 настоящего Руководства по безопасности условиям, включать их в набор исходных событий аварий.

2.5.6. Для определения событий внешних воздействий природного и техногенного характера, подлежащих включению в набор исходных событий аварий, рекомендуется:

для каждого из внешних факторов (процессов, явлений) природного и техногенного происхождения, представленных в Приложении № 5 к настоящему Руководству по безопасности, проанализировать наличие соответствующих указанным факторам (процессам, явлениям) источников внешних воздействий на площадке и в районе размещения АС, способных оказать на АС воздействие, удовлетворяющее условиям, указанным в пункте 2.5.2 настоящего Руководства по безопасности. Внешние воздействия, удовлетворяющие указанным условиям, включаются в набор исходных событий аварий;

проанализировать возможность совместного неблагоприятного воздействия сочетания нескольких внешних факторов (процессов, явлений), а также возникновения дополнительных процессов, явлений и факторов, выявляя те случаи, когда совместное воздействие факторов (процессов, явлений) приводит к более тяжёлым последствиям, чем воздействие каждого из факторов по отдельности, включать выявленные сочетания в набор исходных событий аварий, если они отвечают условиям, указанным в пункте 2.5.2 настоящего Руководства по безопасности;

если для одного и того же внешнего фактора (процесса, явления) природного (техногенного) происхождения масштаб воздействия на АС и объём требуемых мер со стороны систем и персо-

нала АС для обеспечения безопасности АС различны при различной интенсивности рассматриваемого фактора (процесса, явления), то в качестве отдельных исходных событий в набор исходных событий аварий включаются внешние воздействия, соответствующие одному и тому же фактору (процессу, явлению), но имеющие разную интенсивность, вследствие чего вызывающие различные по значимости нарушения нормальной эксплуатации АС и требующие разной реакции систем и операторов АС.

Рекомендуется рассматривать внешние воздействия с интенсивностью, учитываемой в проектных основах, и с интенсивностями, превышающими учитываемые в проектных основах. Количество градаций интенсивности воздействия, превышающей проектную, принимается экспертно – это количество должно определяться разностью последствий, которые вызывает внешнее воздействие той или иной интенсивности, требующих, соответственно, разной реакции систем АС и оператора при управлении ЗПА, вызываемой соответствующим воздействием.

Пример экспертного выбора градаций интенсивностей внешних воздействий представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Пример экспертного выбора градаций интенсивности внешних воздействий

Градация интенсивности внешнего воздействия	Влияние на АС (блок АС)
Внешнее затопление	
«ниже базовой»[3]	Нет влияния, не изменяется состояние нормальной эксплуатации АС[4].
«базовая»	Останов РУ. Затопление береговой насосной станции и отказ циркуляционных насосов.
«расширенная»	В дополнение к «базовой» интенсивности воздействия: затопление всей площадки АС и нижних отметок помещений турбинного отделения, ОРУ и площадок открытых трансформаторов.

[3] Не превышающая интенсивность, учитываемую в проектных основах.

[4] Не включается в набор исходных событий аварий как не отвечающая условиям п.2.5.2 настоящего Руководства по безопасности.

Градация интенсивности внешнего воздействия	Влияние на АС (блок АС)
«катастрофическая»	В дополнение к «расширенной» интенсивности воздействия: затопление всей площадки АС до уровня потери возможности перемещения людей и техники, полная изоляция отдельных зданий и сооружений, потеря внешних источников электроснабжения, затопление помещений дизель-генераторов, затопление помещений на нижних отметках реакторного и турбинного отделений.
Ветер	
«ниже базовой» [5]	Нет влияния, АС не изменяет состояние нормальной эксплуатации[6].
«базовая»	Останов РУ. При сильном ветре до 32 м/с – автоматическое отключение внешних ЛЭП защитой по причине межфазных коротких замыканий на проводах.
«расширенная»	В дополнение к «базовой» интенсивности воздействия: При ураганном ветре более 32 м/с – обрыв проводов ЛЭП, длительная потеря внешнего электроснабжения АС.
«катастрофическая»	В дополнение к «расширенной» интенсивности воздействия: разрушение оборудования (иных элементов АС), находящегося вне зданий; повреждение незащищенных зданий.

Рекомендуется определить перечень повреждений (отказов) систем (элементов) АС, а также повреждений необходимой для управления авариями инфраструктуры (прежде всего, путей сообщения), которые вызывает внешнее воздействие, с тем, чтобы облегчить последующее группирование ИС.

При выполнении положений данного пункта рекомендуется там, где это уместно, использовать имеющиеся результаты анализов влияния внешних воздействий на АС, выполненных в рамках вероятностного анализа безопасности.

---

[5] Не превышающая интенсивность, учитываемую в проектных основах.

[6] Не включается в набор исходных событий аварий как не отвечающая условиям п.2.5.2 настоящего Руководства по безопасности.

2.5.7. В случае установления, что стратегию управления аварией, вызываемой внешним воздействием, можно представить в виде совокупности действий по управлению аварией, вызванной внутренним ИС, вызывающим аналогичные нарушения в работе АС, и действий по ограничению масштаба повреждений и восстановлению инфраструктуры, рекомендуется группировать такие внешние воздействия с соответствующими внутренними ИС. При этом указывается (делается оговорка), что, в случае, если ИС, входящие в группу ИС, вызваны внешними воздействиями, при управлении авариями должна учитываться также необходимость выполнения действий по ограничению масштаба повреждений (например, по тушению возникших пожаров), способных потенциально воспрепятствовать действиям по управлению аварией и по восстановлению необходимой (потенциально необходимой) для управления аварией инфраструктуры.

2.5.8. Исходные события аварий, для которых требуется выполнение одинакового набора ФБ, в случае, когда для их реализации требуется работа одних и тех же систем (элементов) АС с предъявлением к ним одних и тех же (либо сходных) требований, а также одних и тех же действий персонала АС, осуществляемых в схожих условиях и, кроме того, для которых установлена одинаковая доступность систем, выполняющих ФБ, рекомендуется группировать и в дальнейшем рассматривать как единую группу ИС. Также для каждой группы ИС выявляются все зависимые от ИС отказы, далее группа ИС и отказы, зависимые от ИС, рассматриваются совместно.

Группированию ИС рекомендуется уделить особое внимание, так как оно позволяет существенно сократить количество рассматриваемых впоследствии сценариев аварий.

2.5.9. При использовании для целей группирования событий, включенных в набор исходных событий аварий, результатов группирования исходных событий, выполненного в рамках ВАБ, особое внимание обратить на ситуации, где группирование выполнялось с консервативными допущениями (то есть с такими допущениями, когда для ИС, входящих в группу, полагалось, что требования к действиям персонала и работе систем (элементов) АС являются наиболее строгими среди всех представителей группы) – если использование указанных консервативных допу-

щений приводит к тому, что для отдельных ИС перестают учитываться возможные стратегии управления авариями, результаты такого группирования ИС для целей составления окончательного перечня запроектных аварий пересматриваются.

2.6. Этап 4. Установление подлежащих включению в окончательный перечень запроектных аварий сценариев аварий, не относящихся к тяжёлым

2.6.1. После определения в рамках этапа 3 набора групп исходных событий для каждой из указанных групп ИС устанавливаются сценарии аварий, не относящихся к тяжёлым, подлежащие включению в окончательный перечень запроектных аварий.

2.6.2. Для установления сценариев аварий, указанных в пункте 2.6.1 настоящего Руководства по безопасности, рекомендуется выполнить следующие девять шагов:

Шаг 1. Для каждой группы ИС определяется набор функций безопасности (под функцией безопасности здесь и далее понимаются требования к действиям (работе) систем (элементов) АС и персонала АС, направленные на достижение конкретной цели по предотвращению аварии или ограничению её последствий), которые должны осуществляться для управления аварией (т.е. для предотвращения перехода аварии в тяжёлую стадию, для возвращения АС в контролируемое состояние, для обеспечения выполнения основных функций безопасности, установленных в пункте 3.1.2 федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций», а также для смягчения последствий аварии). Пример составления набора функций безопасности и способов их реализации для реакторной установки представлен в Приложении № 6 к настоящему Руководству по безопасности, пример представления результатов определения требуемых функций безопасности (либо способов выполнения функций безопасности) для конкретных отобранных групп исходных событий для реакторной установки представлен в Приложении № 7 к настоящему Руководству по безопасности.

Если выполнение функции безопасности системами (элементами) и (или) персоналом АС зависит от работы других систем (в том числе, обеспечивающих и управляющих систем), рекомендуется рассматривать работу обеспечивающих (управляющих) си-

стем совместно с обеспечиваемыми (управляемыми) системами в рамках единой функции безопасности.

Однако работу обеспечивающих систем (например, системы электроснабжения собственных нужд АС), отказ выполнения которых приводит к отказу *нескольких* обеспечиваемых ими функций безопасности, требующихся для управления рассматриваемой аварией, рекомендуется рассматривать в качестве самостоятельной функции безопасности.

Шаг 2. Группы ИС, для которых невозможно избежать перехода в тяжёлую стадию, в рамках этапа 4 не анализируются.

Шаг 3. После того, как определены ФБ и реализующие их системы (элементы) АС, а также действия персонала АС, для каждой группы ИС составляются комбинации событий «ИС» + «Отказ выполнения функции безопасности N (либо способа K выполнения функции безопасности N)». Комбинации составляются для каждой из ФБ, вошедших в набор функций безопасности, которые должны осуществляться для управления аварией, определенный для данной группы ИС на шаге 1. В каждую комбинацию включается только одна ФБ. Результаты анализа представляются в виде таблицы[7].

Шаг 4. Выполняется проверка, что для каждой из комбинаций событий, образованных на шаге 3, возможно управление аварией за счет работы остающихся работоспособными систем (элементов) АС и действий персонала АС, предотвращающее переход аварии в тяжёлую стадию (или, по меньшей мере, значимо[8] отдаляющее такой переход по времени). Для этого могут как использоваться результаты ранее выполненных анализов (в частности, вероятностного анализа безопасности), так и выполняться специальные исследования (расчеты). Комбинации, не отвечающие указанным выше условиям, исключаются из рассмотрения и анализируются отдельно в рамках этапа 5 «Установление подлежащих включению в окончательный перечень запроектных аварий сценариев тяжёлых аварий» в соответствии с порядком, пред-

[7] При наличии ВАБ первого уровня выполнение данного шага рекомендуется выполнять с использованием разработанного в рамках ВАБ анализа аварийных последовательностей.

[8] Например, на несколько часов.

ставленным в разделе 2.7 настоящего Руководства по безопасности.

Шаг 5. Для каждой комбинаций событий, отобранной по результатам выполнения шагов 3, 4, составляются дополнительные комбинации событий, состоящие из комбинаций событий, отобранных на указанных шагах, с одним или несколькими событиями вида «Отказ выполнения функции безопасности М (либо способа L выполнения функции безопасности М)»[9]. В каждой из образованных таким образом дополнительных комбинаций каждая ФБ (либо способ выполнения ФБ) может входить только один раз. Сначала формируются дополнительные комбинации событий, состоящие из трех событий, затем – из четырех, и так далее до полного исчерпания ФБ (способов выполнения функций безопасности). При этом, если для какой-либо из сформированных комбинаций событий устанавливается невозможность управления аварией за счет работы остающихся работоспособными систем (элементов) АС и действий персонала АС таким образом, чтобы предотвращался переход аварии в тяжёлую стадию (или, по меньшей мере, такой переход значимо отдалялся по времени), то такая комбинация событий в окончательный перечень запроектных аварий не включается (она подлежит анализу в рамках этапа 5 «Установление подлежащих включению в окончательный перечень запроектных аварий сценариев тяжёлых аварий» в соответствии с порядком, представленным в разделе 2.7 настоящего Руководства по безопасности) и, кроме того, не используется для дальнейшего формирования дополнительных комбинаций.

Шаг 6. Комбинации событий, отобранные по результатам выполнения шагов 3, 4, 5, включаются в окончательный перечень запроектных аварий. Также в окончательный перечень запроектных аварий включаются группы ИС, отобранные на этапе 3 (в соответствии с разделом 2.5 настоящего Руководства по безопасно-

---

[9] Рекомендуется рассматривать различные способы выполнения ФБ только в случаях, когда указанные способы требуют существенно разных по содержанию действий персонала, либо когда время на выполнение требуемых действий персоналом АС существенно отличается. В противном случае различные способы выполнения ФБ при составлении комбинаций событий на рассматриваемом шаге 5 не выделяются.

сти), которые не относятся к ИС проектных аварий, но при этом не приводят непосредственно к тяжелой аварии.

Шаг 7. Проверяется, что в число комбинаций событий, образованных на шагах 3, 4, 5, входят аварии, не относящиеся к тяжёлым, рекомендуемые к учёту в составе ЗПА российскими нормативными документами (см. приложение № 8 к настоящему Руководству по безопасности). При необходимости перечень сценариев аварий, не относящихся к тяжёлым, включенных в окончательный перечень запроектных аварий на шагах 3, 4, 5, дополняется.

Аварийные сценарии, рекомендуемые к учету в составе ЗПА российскими нормативными документами, для которых имеется обоснование физической невозможности их возникновения на анализируемом блоке АС, в окончательный перечень ЗПА не включаются.

Шаг 8. Из окончательного перечня запроектных аварий допускается исключать аварийные сценарии, отличающиеся от проектных аварий лишь числом работоспособных каналов систем безопасности (при условии, что остающиеся в работе при таких аварийных сценариях каналы систем безопасности обеспечивают соблюдение проектных пределов для проектных аварий), либо иными особенностями, не оказывающими принципиальное влияние на управление такой аварией по сравнению с проектными авариями.

Шаг 9. С целью уменьшения размера окончательного перечня ЗПА для аварийных сценариев (представляющих собой комбинации событий, либо ИС запроектных аварий), подлежащих включению в указанный перечень в соответствии с шагами 6 и 7, рекомендуется выполнить группировку аварийных сценариев – при этом в одну группу включаются аварийные сценарии, требующие одинаковых (или сходных) стратегий управления авариями при условии, что времена, которыми располагает персонал АС на реализацию указанных стратегий не имеют значимых (принципиальных отличий), и, кроме того, отсутствуют значительные отличия в доступности систем (элементов) АС, используемых для управления аварией. В окончательном перечне ЗПА после такого группирования оставляется по одному представителю каждой группы сценариев.

2.6.3. Выполнение шагов 1-9, описанных в пункте 2.6.2 настоящего Руководства по безопасности, позволяет включить в окончательный перечень запроектных аварий, набор аварийных сценариев, не относящихся к тяжёлым авариям, отвечающий требованию представительности, описанному в пункте 2.1.1 настоящего Руководства по безопасности.

2.7. Этап 5. Установление подлежащих включению в окончательный перечень запроектных аварий сценариев тяжёлых аварий

2.7.1. На этапе 5 устанавливаются сценарии тяжёлых аварий, подлежащие включению в окончательный перечень запроектных аварий. Указанные сценарии устанавливаются отдельно для каждого из мест возможного возникновения аварии, определенных на этапе 1 в соответствии с положениями раздела 2.3 настоящего Руководства по безопасности. При этом для мест нахождения РВ и РАО, отобранных на указанном этапе, в которых отсутствуют ЯМ, определение возможных сценариев тяжелых аварий не производится[10]. Определение сценариев тяжёлых аварий выполняется раздельно для каждого из эксплуатационных состояний АС, выделенных на этапе 2 в соответствии с положениями раздела 2.4 настоящего Руководства по безопасности.

2.7.2. Для выполнения требования представительности, описанного в пункте 2.1.1 настоящего Руководства по безопасности, в окончательный перечень запроектных аварий включаются все возникающие при тяжёлой аварии состояния АС, различающиеся по реализуемой стратегии управления аварией (при этом не столь существенным является то, за счёт реализации какой аварийной последовательности при тяжёлой аварии АС попала в данное состояние).

С этой целью рекомендуется выполнить последовательно семь шагов:

Шаг 1. Составляется перечень физических барьеров, а также функций безопасности, состояние которых влияет на стратегию действий по управлению тяжелой аварией.

---

[10] Поскольку тяжелая авария – это авария с повреждением твэлов, то в местах, где отсутствуют ЯМ, тяжёлая авария возникнуть не может.

Шаг 2. Составляется перечень физических процессов, угрожающих целостности физических барьеров при тяжелой аварии (примерный перечень процессов такого рода для реакторной установки представлен в Приложении № 9 к настоящему Руководству по безопасности).

Шаг 3. Для каждого физического барьера и ФБ, выявленных на шаге 1, разрабатывается градация состояний – от полной эффективности физического барьера либо функции безопасности до полной неэффективности, таким образом, чтобы различные состояния физических барьеров либо функций безопасности требовали реализации различных стратегий по управлению запроектными авариями (различность стратегий может выражаться как в различии в технических средствах, применяемых для управления аварией, так и в различии действий, которые требуется предпринять персоналу АС)[11]. Разработка градации состояний для физических барьеров и ФБ требует анализа имеющейся информации по феноменологии тяжелых аварий и, в ряде случаев, проведения расчетных исследований. Каждая конкретная совокупность состояний физических барьеров в дальнейшем называется уровнем тяжести состояния АС.

Шаг 4. Градация состояний физических барьеров (градация уровней тяжести состояния АС), определяемая на шаге 3 настоящего пункта 2.7.2, проверяется на соответствие следующему условию: негативный эффект от реализации угрозы, связанной с одним из физических процессов, установленных на шаге 2 настоящего пункта 2.7.2, приводит к изменению уровня тяжести состояния АС (то есть в результате реализации указанной угрозы состояние, как минимум, одного из физических барьеров, в соответствии с принятой градацией состояний, изменяется в худшую сторону). При необходимости градация состояний физических барьеров, установленная на шаге 3 настоящего пункта 2.7.2, корректируется.

---

[11] При наличии ВАБ второго уровня для разработки перечня физических барьеров, функций безопасности, а также их градаций целесообразно привлечь информацию по СПИР, выделенных в рамках ВАБ (т.к. при определении факторов, определяющих СПИР, учитываются во-многом, те же факторы, что и при определении перечня физических барьеров, функций безопасности, а также их градаций, определяемых на шагах 1-3).

Шаг 5. Разрабатываются обобщенные деревья событий, отражающие развитие исходного события аварии в состояния АС с различными уровнями тяжести (пример разработки обобщенных деревьев событий для реакторной установки ВВЭР-1000 представлен в Приложении № 10 к настоящему Руководству по безопасности) в зависимости от выполнения или невыполнения выделенных функций безопасности[12]. Аварийные последовательности обобщенных деревьев событий разрабатываются до тех пор, пока не достигается конечное состояние, которое может поддерживаться неограниченно долго и в котором исчерпаны меры по ослаблению последствий ЗПА.

Шаг 6. В окончательный перечень ЗПА включаются сценарии, соответствующие каждому из представленных в обобщенных деревьях событий уровню тяжести состояния АС[13]. Возможно также представление сценариев тяжелых аварий в окончательном перечне ЗПА в более общем виде – а именно в виде сценария, последовательно развивающегося от одного уровня тяжести состояния АС к другому (с возможными ветвлениями). При этом, если выбран такой более общий способ представления тяжелых аварий в окончательном перечне ЗПА, описание каждого конкретного сценария рекомендуется сопроводить указаниями,

---

[12] Обобщенные деревья событий имеют ряд непринципиальных отличий от деревьев событий, разрабатываемых в рамках ВАБ. Отличия состоят в том, что:

1) в деревьях событий, разрабатываемых в рамках ВАБ, в качестве конечных состояний рассматриваются успешные и неуспешные состояния без дифференциации, как правило, последних по уровням тяжести (в особенности это относится к деревьям событий, разрабатываемым в рамках ВАБ первого уровня – в них рассматривается обычно единственное неуспешное состояние – состояние с повреждением активной зоны), в то время как обобщенные деревья событий, разрабатываемые для целей составления окончательного перечня ЗПА, включают значительное количество различных конечных состояний, соответствующих различным уровням тяжести;

2) выполнение ФБ представляется в обобщенных деревьях событий в обобщенном виде без явного указания систем или действий персонала, задействованных в их реализации.

[13] При этом при описании сценария в окончательном перечне ЗПА допускается как указывать только уровень тяжести состояния АС, так и описывать сценарий, в соответствии с которым авария развивается из исходного события (либо из иного уровня тяжести состояния АС) в состояние с рассматриваемым уровнем тяжести состояния АС – как удобнее.

что стратегия управления аварией подлежит определению для каждого уровня тяжести состояния АС, через которые проходит развитие аварийного сценария.

Шаг 7. Проводится проверка того, что разработанные обобщенные деревья событий отражают состояния АС, относящиеся к тяжёлым авариям, рекомендуемые российскими нормативными документами к учету в составе окончательного перечня запроектных аварий (представлены в приложении № 8 к настоящему Руководству по безопасности). При необходимости перечень сценариев тяжёлых аварий, включаемых в окончательный перечень запроектных аварий, дополняется.

2.7.3. Выполнение шагов 1-7, описанных в пункте 2.7.2 настоящего Руководства по безопасности, позволяет включить в окончательный перечень запроектных аварий, набор состояний, относящихся к тяжёлым авариям, отвечающий требованию представительности, описанному в пункте 2.1.1 настоящего Руководства по безопасности.

2.7.4. Определенный по результатам выполнения шагов 1-7, описанных в пункте 2.7.2 настоящего Руководства по безопасности, перечень сценариев тяжёлых аварий, подлежащих включению в окончательный перечень ЗПА, может уточняться после определения для каждого из указанных сценариев набора систем (элементов) АС и действий персонала АС, которые задействуются в применяемой стратегии управления аварией (после детализации обобщенных деревьев событий до уровня систем АС и действий персонала АС, обеспечивающих выполнение ФБ). В результате выполнения уточнения может также возникнуть необходимость уточнения определенных на шагах 3, 4, описанных в пункте 2.7.2 настоящего Руководства по безопасности, уровней тяжести состояния АС.

В окончательном виде набор сценариев тяжелых аварий, подлежащих включению в окончательный перечень ЗПА, составляется одновременно с завершением разработки мер по управлению ЗПА. В ходе этой разработки выполняются, в том числе, расчетные анализы отобранных сценариев тяжелых аварий.

По результатам анализов определяются признаки, по которым персонал АС может идентифицировать то или иное состоя-

ние АС и принимать решения о надлежащей последовательности действий по управлению аварией.

При установлении указанных признаков учитывается, что сценарии тяжелых аварий могут быть следствием внешних воздействий природного или техногенного характера, а также внутренних воздействий (в том числе, пожаров, затоплений по внутренним причинам), что может приводить к массовым повреждениям систем, элементов, важных для безопасности, в том числе, систем контроля и управления, что может вызвать затруднения в идентификации состояния АС.

Также внешние воздействия природного и техногенного происхождения, внутриплощадочные пожары (затопления), и, кроме того, отдельные внутренние воздействия могут приводить к возникновению аварий на нескольких блоках (иных ОИАЭ, находящихся на площадке АС) многоблочной АС одновременно. При последующем анализе запроектных аварий учитываются возникающие ограничения (например, в людских ресурсах, в возможностях использования общеблочных систем), накладываемые на возможности управления аварией в ситуации, когда авария возникает сразу на нескольких блоках АС (иных ОИАЭ, находящихся на площадке АС).

III. Представление окончательного перечня запроектных аварий и его дальнейшее использование

3.1. В соответствии с требованием включения перечня ЗПА в ООБ АС, описанным в пункте 2.1.1 настоящего Руководства по безопасности, окончательный перечень запроектных аварий, содержащий сценарии аварии, не относящиеся к тяжёлым, определенные в соответствии с положениями раздела 2.6 настоящего Руководства по безопасности, а также сценарии тяжёлых аварий, определенные в соответствии с положениями раздела 2.7 настоящего Руководства по безопасности, представляется в ООБ АС.

3.2. В соответствии с описанным в пункте 2.1.1 настоящего Руководства по безопасности требованием разработки противоаварийной документации на основании ООБ АС, в ООБ АС представляется реалистичный (неконсервативный) анализ аварийных сценариев, включенных в окончательный перечень запроектных аварий.

3.3. На основе анализа, указанного в пункте 3.2 настоящего Руководства по безопасности, разрабатывается руководство по управлению запроектными авариями, содержащее указания персоналу АС по порядку управления запроектными авариями. Данные указания основываются на признаках происходящих событий и состояний РУ и АС в целом, а также на прогнозе ожидаемого развития аварий. Благодаря тому, что окончательный перечень запроектных аварий, лежащий в основе анализа, по результатам которого разрабатывается Руководство по управлению запроектными авариями, отвечает требованию представительности, описанному в пункте 2.1.1 настоящего Руководства по безопасности, а указания, содержащиеся в руководстве по управлению запроектными авариями, охватывают любую аварию, возникновение которой физически возможно на блоке АС и позволяют оператору АС принимать соответствующие меры по управлению аварией.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к руководству по безопасности при
использовании атомной энергии
«Рекомендации по формированию
окончательного перечня запроектных
аварий, подлежащих учету в проекте
атомных станций с реакторами типа ВВЭР»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 13 августа 2018 г. № 359

Обозначения и сокращения

АП	-	Аварийная последовательность
АС	-	Атомная станция
БВ	-	Бассейн выдержки
БЗОК	-	Быстродействующий запорный отсечной клапан
БРУ-А	-	Быстродействующая редукционная установка со сбросом пара в атмосферу
БРУ-К	-	Быстродействующая редукционная установка со сбросом пара в конденсатор
БРУ-СН	-	Быстродействующая редукционная установка собственных нужд
ВАБ	-	Вероятностный анализ безопасности
ВКУ	-	Внутрикорпусные устройства
ГЗЗ	-	Главная запорная задвижка
ГО	-	Герметичное ограждение
ГЦН	-	Главный циркуляционный насос
ГЦТ	-	Главный циркуляционный трубопровод
ДС	-	Дерево событий
ЗПА	-	Запроектная авария
ИИ	-	Ионизирующее излучение
ИПУ	-	Импульсное предохранительное устройство
ИС	-	Исходное событие
КО	-	Компенсатор объёма
ЛЭП	-	Линия электропередач
МАГАТЭ	-	Международное агентство по атомной энергии
МКУ	-	Минимально-контролируемый уровень мощности
ООБ АС	-	Отчет по обоснованию безопасности блока атомной станции
ОР	-	Орган регулирования
ОРУ	-	Открытое распределительное устройство
ОУОБ	-	Отчет по углубленной оценке безопасности

ПГ	-	Парогенератор
ПК ПГ	-	Предохранительный клапан ПГ
РАО	-	Радиоактивные отходы
РВ	-	Радиоактивные вещества
РДЭС	-	Резервная дизельная электростанция
РУ	-	Реакторная установка
САОЗ	-	Система аварийного охлаждения зоны
САОЗ ВД	-	САОЗ высокого давления
САОЗ НД	-	САОЗ низкого давления
СПИР	-	Состояние с повреждением источника радиоактивности
СУЗ	-	Система управления и защиты
СЦР	-	Самоподдерживающаяся цепная реакция деления
ФБ	-	Функция безопасности
ХОВ	-	Химобессоленная вода
ЯМ	-	Ядерные материалы
ЯТ	-	Ядерное топливо
ATWS	-	Anticipated Transient without Scram (ожидаемое нарушение без срабатывания аварийной защиты).
DEC	-	Design Extension Conditions (запроектные условия)
DEC A	-	Design Extension Conditions Category A (запроектные условия категории А)
DEC B	-	Design Extension Conditions Category B (запроектные условия категории В)
EUR	-	European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants (Требования европейских эксплуатирующих организаций к атомным электростанциям с легководным реактором).
WENRA		Western European Nuclear Regulators Association (Западноевропейская ассоциация ядерных регуляторов).

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к руководству по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию окончательного перечня запроектных аварий, подлежащих учету в проекте атомных станций с реакторами типа ВВЭР», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13 августа 2018 г. № 359

Термины и определения

Аварийная последовательность - комбинация следующих событий: эксплуатационного состояния, предшествовавшего нарушению нормальной эксплуатации АС, исходного события (отказа элемента АС, ошибки персонала, пожара, затопления, внешнего воздействия природного или техногенного происхождения), успешного или неуспешного выполнения функций безопасности системами (элементами) АС, а также персоналом.

Авария на АС - нарушение нормальной эксплуатации АС, при котором произошел выход радиоактивных веществ и (или) ионизирующего излучения за границы, предусмотренные проектом АС для нормальной эксплуатации в количествах, превышающих установленные пределы безопасной эксплуатации; авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями.

Внутриплощадочное затопление - событие, заключающееся в создании превышающего установленные для нормальной эксплуатации пределы уровня воды в зданиях, строительных конструкциях, сооружениях или в их отдельных частях (помещениях), вызванное отказами оборудования, трубопроводов и других элементов АС или ошибками персонала.

Внутриплощадочный пожар - событие, заключающееся в возгорании и горении (вплоть до полного сгорания) находящихся или обращающихся в зданиях, сооружениях, отдельных их частях (помещениях) или на открытых частях площадки АС горючих веществ и материалов.

Запроектная - авария, вызванная не учитываемыми для про-

авария		ектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами элементов систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений персонала.
Зона затопления	-	помещение или несколько помещений АС, не имеющих барьеров для взаимопроникновения воды за счет различных видов связей и отделенных от других помещений АС наличием таких барьеров.
Пожарная зона	-	помещение или несколько помещений АС, не имеющих между собой барьеров, препятствующих распространению пожара за счет различных видов связей, и отделенных от других помещений АС огнестойкими барьерами или препятствующим распространению опасных факторов пожара расстоянием.
Проектная авария	-	авария, для которой в проекте АС определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие при независимом от исходного события отказе одного из элементов систем безопасности, учитываемом в проекте АС, или при одной, независимой от исходного события, ошибке персонала ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.
Тяжёлая авария	-	запроектная авария с повреждением твэлов выше максимального проектного предела
Уровень тяжести	-	набор постулируемых состояний АС, каждое из которых характеризуется степенью повреждения физических барьеров на пути распространения радиоактивных веществ и (или) ионизирующего излучения в окружающую среду.
Эксплуатационное состояние АС	-	состояние нормальной эксплуатации АС, характеризующееся установленными в проекте АС эксплуатационными пределами и условиями.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3
к руководству по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию окончательного перечня запроектных аварий, подлежащих учету в проекте атомных станций с реакторами типа ВВЭР», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13 августа 2018 г № 359

Соответствие окончательного перечня ЗПА, формируемого в соответствии с положениями НП-001-15, и сценариев запроектных условий (DEC), подлежащих учету в проекте АС в соответствии с требованиями норм безопасности МАГАТЭ, WENRA и EUR

В соответствии с современными требованиями норм безопасности МАГАТЭ[14], WENRA[15], EUR[16] в проекте АС должен быть определен набор запроектных условий[17] (DEC) – дополнительных (по сравнению со сценариями, рассматриваемыми в рамках проектных аварий) аварийных сценариев, которые следует учитывать при проектировании с целью дальнейшего повышения безопасности АС за счет:

расширения возможностей АС противостоять более значительным событиям и условиям, чем те, которые учитываются в составе проектных аварий;

минимизации опасного воздействия на население и окружающую среду радиоактивных выбросов настолько, насколько это практически разумно, если указанные выше события или условия будут иметь место.

В соответствии с подходом WENRA, запроектные условия (DEC) имеют две категории

DEC A – аварийные сценарии, для которых возможно[18] предотвращение перехода аварии в тяжелую стадию;

---

[14] Нормы безопасности МАГАТЭ Безопасность атомных станций проектирование. *Конкретные требования безопасности № SSR-2/1 (Rev 1). Требование 20* МАГАТЭ, Вена, 2016

[15] В настоящем Приложении № 3 к Руководству по безопасности анализируются требования WENRA, изложенные в публикации WENRA RHWG Report WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors Update in Relation to Lessons Learned from TEPCO Fukushima Dai-Ichi Accident Issue F 24th September 2014

[16] В настоящем Приложении № 3 к Руководству по безопасности анализируются требования EUR, изложенные в публикации European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants Volume 2 Generic Nuclear Island Requirements Chapter 1 Safety Requirements Revision D October 2012

[17] Термин "Design extension conditions (DEC)" в официальных публикациях МАГАТЭ на русском языке переводится как «запроектные условия» Вместе с тем, на практике также используется такой перевод указанного термина на русский язык как «расширенные проектные условия»

[18] С помощью технических средств, предусмотренных в проекте АС.

DEC B – аварийные сценарии тяжёлых аварий.

В соответствии с положениями EUR, первая из указанных выше категорий запроектных условий (DEC A) имеет название «сложные последовательности», а вторая (DEC B) – «тяжёлые аварии».

Анализ запроектных условий категории DEC A имеет целью подтвердить, что в проекте АС имеются технические и организационные меры, позволяющие предотвратить переход рассматриваемых в этой категории аварийных сценариев в тяжёлую аварию. Анализ запроектных условий категории DEC B имеет целью определить показать наличие практически осуществимых технических и организационных мер по смягчению последствий рассматриваемых в указанной категории аварийных сценариев.

Таким образом, цель рассмотрения аварийных сценариев, рассматриваемых в рамках категорий DEC A и DEC B, – показать, что обеспечивается соблюдение определенных критериев безопасности (предотвращение тяжёлых аварий для DEC A и смягчение радиационного воздействия для DEC B[19]). Кроме того, при проектировании АС, в соответствии с рассматриваемыми подходами, требуется обеспечить, чтобы состояния, приводящие к радиоактивному выбросу на ранней стадии или к крупному радиоактивному выброса, практически исключались[20].

Цель составления окончательного перечня ЗПА в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии "Общие положения обеспечения безопасности атомных станций" – более общая. Целью в формирования указанного перечня ЗПА является получение представительного перечня ЗПА (отвечающего требованию представительности, сформулированному в пункте 2.1.1 настоящего Руководства по безопасности) – то есть перечня, который позволит на основе результатов анализа входящих в него запроектных аварий разработать такие включаемые в руководство по управлению запроектными авариями[21] указания по действиям персонала (стратегии управления ЗПА), которые позволят персоналу АС предпринимать правильные действия по управлению ЗПА в любой ситуации (в том числе, и при возникновении крайне маловероятных сценариев, которые, в соответствии с подходами норм безопасности МАГАТЭ, WENRA, EUR, могут считаться «практически исключенными» и, соответственно, не рассматриваться в составе запроектных условий категорий DEC A и DEC B).

Не для всех аварий, входящих в окончательный перечень ЗПА, формируемый в соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии "Общие положения обеспечения безопас-

---

[19] Для DEC B, в соответствии с подходом WENRA, должно быть показано, что выброс РВ ограничен по времени и величине так, чтобы имелось достаточное разумное время для реализации защитных мер (если они требуются) вблизи АС и предотвращалось загрязнение больших территорий на длительном периоде.

[20] Возможность возникновения определенных состояний может считаться «практически исключенной» в случае отсутствия физической возможности их возникновения или в случае, если существует высокая степень уверенности в крайне малой вероятности их возникновения.

[21] А также в планы мероприятий по защите персонала и населения.

ности атомных станций", вообще говоря, требуется показывать соблюдение установленных в нормативных документах критериев безопасности. Если разработчик проекта АС, в соответствии с требованиями нормативных документов и современным уровнем развития науки, техники и производства (учитывая, в том числе подходы WENRA и EUR), принимает решение для определенных категорий запроектных аварий демонстрировать соблюдение устанавливаемых в проекте АС критериев безопасности, то следует учесть, что такой подход может быть применим не ко всем запроектным авариям, входящим в окончательный перечень ЗПА.

Схематично соотношение набора аварийных сценариев, включаемых в окончательный перечень ЗПА, формируемый в соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии "Общие положения обеспечения безопасности атомных станций", с запроектными условиями, определяемыми в соответствии с подходами WENRA и EUR, показано на рисунке 2.

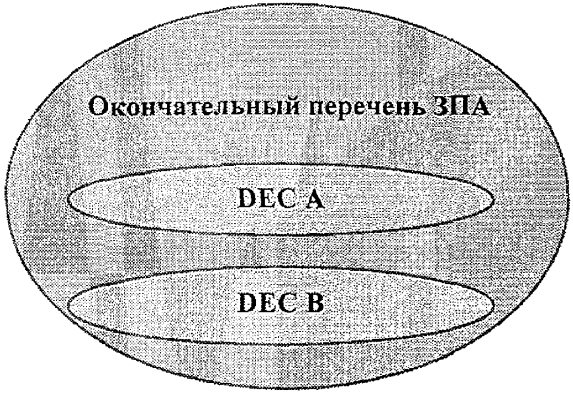
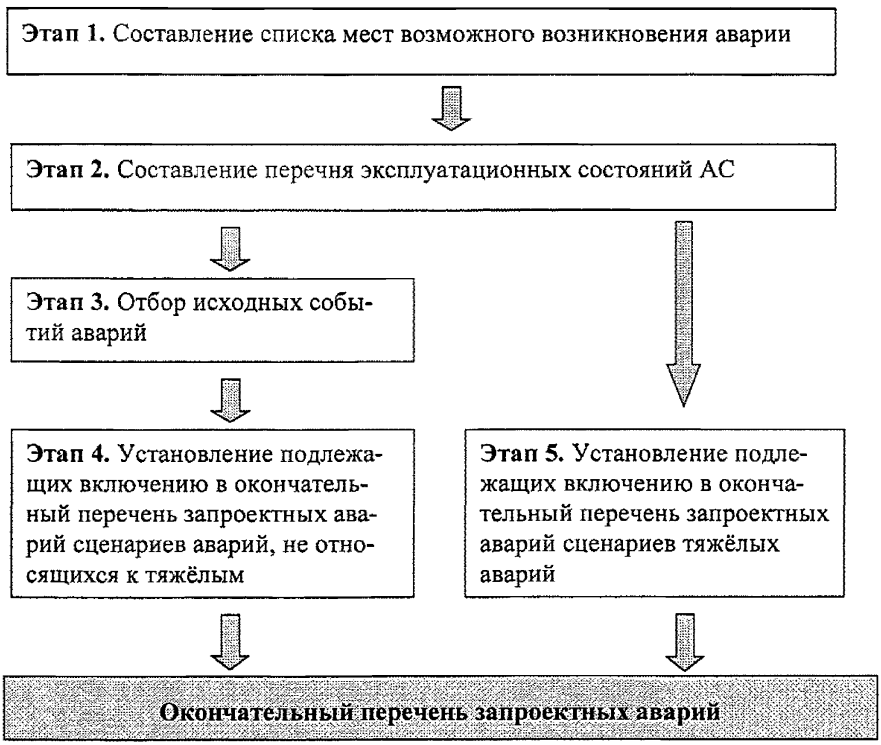


Рисунок 2. Соотношение аварийных сценариев, включаемых в окончательный перечень ЗПА (формируемый в соответствии с «Общими положениями обеспечения безопасности атомных станций») с запроектными условиями DEC A и DEC B (определяемыми в соответствии с подходами WENRA и EUR).

Как видно из рисунка 2, аварии, относимые, в соответствии с положениями WENRA и EUR, к запроектным условиям категорий DEC A и DEC B, включаются и в окончательный перечень ЗПА. Вместе с тем, в окончательный перечень ЗПА входят также аварии, не учитываемые в составе DEC A и DEC B.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 4
к руководству по безопасности при
использовании атомной энергии
«Рекомендации по формированию
окончательного перечня запроектных
аварий, подлежащих учету в проекте
атомных станций с реакторами типа
ВВЭР», утвержденному приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 13 августа 2018 г. № 359

Общий алгоритм формирования окончательного перечня запроектных аварий



ПРИЛОЖЕНИЕ № 5
к руководству по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию окончательного перечня запроектных аварий, подлежащих учету в проекте атомных станций с реакторами типа ВВЭР», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13 августа 2018 г. № 359

Номенклатура внешних процессов, факторов и явлений природного и техногенного происхождения

I. Гидрометеорологические процессы и явления

1.1. Наводнение
1.2. Цунами
1.3. Ледовые явления на водотоках (заторы, зажоры)
1.4. Явления, связанные с режимом прибрежной зоны водных объектов (сгон, нагоны, штормовое волнение, изменение береговой линии, затопление площадки АС)
1.5. Сейши
1.6. Приливы и отливы
1.7. Изменение водных ресурсов: экстремально низкий сток, аномальное снижение уровня воды
1.8. Смерч
1.9. Ветер, ураган
1.10. Тропический циклон (тайфун)
1.11. Дождевые осадки
1.12. Град
1.13. Снегопады
1.14. Экстремальные снегозапасы
1.15. Температура атмосферного воздуха (высокая, а также низкая)
1.16. Лавина снежная
1.17. Гололед
1.18. Удар молнии
1.19. Песчаные бури
1.20. Снежные бури

II. Геологические и инженерно-геологические процессы и явления

2.1. Сейсмотектонические разрывные смещения, сейсмодислокации, сейсмотектонические поднятия, опускания блоков земной коры
2.2. Современные дифференцированные движения земной коры, тектонический крип
2.3. Новейшие движения земной коры
2.4. Остаточные сейсмодеформации земной коры
2.5. Землетрясения (любого генезиса)
2.6. Извержение вулкана
2.7. Грязевой вулканизм

2.8. *Оползни, обвалы и оползни-обвалы*
2.9. Сели, лавины снежно-каменные и щебенисто-глыбовые
2.10. Размывы берегов, склонов, русел
2.11. Оседания и провалы
2.12. Мерзлотно-геологические (криогенные) процессы (морозное пучение, вытаивание жильных льдов, наледи)
2.13. Деформации специфических грунтов в результате развития природных и техногенных процессов (карст, термокарст, разжижение, солифлюкция, суффозионные процессы)
2.14. Эоловые процессы (дефляция, перевевание, барханообразование)
2.15. Эрозионные процессы (плоскостной смыв, эрозия почв и почвогрунтов, оврагообразование)
2.16. Коррозионная агрессивность грунтов и подземных вод
2.17. Высокий уровень грунтовых вод
2.18 Климатическая (солнечная) термодеструкция
2.19 Атмосферная коррозия

III. Техногенные факторы[22]

3.1. Падение летательного аппарата и воздействие других летящих предметов
3.2. Пожар по внешним причинам[23]
3.3. Взрыв на стационарных и передвижных объектах
3.4. Выбросы взрывоопасных, воспламеняющихся газов и аэрозолей в атмосферу, взрыв дрейфующих облаков
3.5. Выбросы токсичных паров, газов и аэрозолей в атмосферу
3.6. Радиационная авария
3.7. Коррозионные жидкие сбросы в поверхностные и грунтовые воды
3.8. Электромагнитное излучение
3.9. Разлив масел и нефтепродуктов на прибрежных поверхностях водных объектов
3.10. Прорыв естественных или искусственных водохранилищ
3.11. Нарушение в работе сетей энергоснабжения (потеря электроснабжения собственных нужд АС, нарушения в работе внешних сетей)[24].

IV. Внешние биологические воздействия

4.1 Воздействие микроорганизмов
4.2. Воздействие водных животных и растений
4.3. Воздействие птиц, насекомых
4.4. Воздействие наземных животных и растений

---

[22] Для техногенных факторов учитываются как источники, имеющиеся вне площадки АС, так и источники на площадке АС, но не относящиеся к анализируемому блоку АС (общеблочное оборудование, либо источники, относящиеся к соседним блокам многоблочной АС).

[23] Пожары здесь условно отнесены к техногенным факторам, хотя могут иметь и природное, и техногенное (антропогенное) происхождение – анализу подлежат пожары любого происхождения, являющиеся внешними по отношению к АС (блоку АС).

[24] Нарушения в работе систем энергоснабжения могут рассматриваться в рамках внутренних ИС.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 6
к руководству по безопасности при
использовании атомной энергии
«Рекомендации по формированию
окончательного перечня запроектных
аварий, подлежащих учету в проекте
атомных станций с реакторами типа ВВЭР»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 13 августа 2018 г. № 359

Пример представления результатов определения набора требуемых функций безопасности и способов их реализации для реакторной установки в эксплуатационном состоянии работы РУ на мощности

Функция безопасности	Способ реализации функции безопасности
I. Подкритичность реактора	**1.** ОР СУЗ (автоматически)
	2. ОР СУЗ (оператор)
	3. Система аварийного ввода бора (оператор)
	4. Система подпитки и борного регулирования + система борного концентрата (оператор)
II. Поддержание запаса воды в первом контуре	**5.** Система пассивного залива активной зоны (пассивно)
	6. Система аварийного охлаждения зоны высокого давления (автоматически)
	7. Система аварийного охлаждения зоны низкого давления (автоматически)
	8. Система подпитки и борного регулирования (оператор)
III. Теплоотвод от первого контура через ПГ	**9.** Система основной и вспомогательной питательной воды + система основного конденсата + БРУ-К (автоматически)
	10. Система основной и вспомогательной питательной воды + система основного конденсата + БРУ-А или ПК ПГ (автоматически) + система ХОВ (оператор)

Функция безопасности	Способ реализации функции безопасности
	11. Система основной и вспомогательной питательной воды (автоматически)+ БРУ-СН +система технологического конденсатора (оператор)
	12. Система аварийной питательной воды + БРУ-А или ПК ПГ (автоматически) + система ХОВ (оператор)
IV. Теплоотвод от первого контура через линию планового расхолаживания	**13.** Линия планового расхолаживания (оператор)
V. Теплоотвод от первого контура в режиме «подпитка-сброс»	**14.** Система аварийного охлаждения зоны высокого давления + ИПУ КО (оператор)
	15. Система подпитки первого контура + ИПУ КО (оператор)
VI. Снижение давления в первом контуре	**16.** Система впрыска + отключение системы подпитки + открытие линии продувки (оператор)
	17. Система аварийного газоудаления (оператор)
	18. Отключение САОЗ высокого давления (оператор)
	19. ИПУ КО (оператор)
VII. Расхолаживание первого контура через ПГ	**20.** Система аварийной питательной воды + система основного конденсата + БРУ-К (оператор)
	21. Система аварийной питательной воды + система основного конденсата + БРУ-А (оператор)
VIII. Целостность второго контура	**22.** Закрытие БЗОК или обратного клапана (задвижки после БЗОК) на паропроводе аварийного ПГ (автоматически)
	23. Закрытие БЗОК (задвижки после БЗОК) на паропроводе аварийного ПГ (оператор)
	24. Закрытие четырёх БЗОК (оператор)
	25. Закрытие БРУ-А или задвижек перед ними (оператор)

Функция безопасности	Способ реализации функции безопасности
	26. Закрытие БРУ-К, БРУ-А, ПК ПГ, изоляция турбины от паропроводов острого пара (автоматически)
IX. Контроль давления в первом контуре	**27.** Предохранительные клапаны компенсатора давления (автоматически)
	28. Система впрыска в компенсатор объёма (автоматически)
	29. Отключение насосов подпитки первого контура (оператор)
X. Контроль давления во втором контуре	**30.** Предохранительные клапаны ПГ или БРУ-А (автоматически)
XI. Циркуляция теплоносителя по первому контуру	**31.** Открытие арматуры на линии аварийного газоудаления из ПГ и реактора (оператор)
XII. Целостность герметичного ограждения	**32.** Закрытие локализующей арматуры на границе ГО (автоматически)
XIII. Электроснабжение собственных нужд	**33.** Система электроснабжения собственных нужд нормальной эксплуатации (автоматически, либо восстановление оператором)
	34. Система аварийного электроснабжения (автоматически)
	35. Электроснабжение собственных нужд от передвижного аварийного источника (оператор)
XIV. Отвод тепла к конечному поглотителю	**36.** Системы технической воды, циркуляционного водоснабжения (автоматически)

ПРИЛОЖЕНИЕ № 7
к руководству по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию окончательного перечня запроектных аварий, подлежащих учету в проекте атомных станций с реакторами типа ВВЭР», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13 августа 2018 г. № 359

Пример представления результатов определения требуемых функций безопасности (либо способов выполнения функций безопасности) для отобранных групп исходных событий для реакторной установки в эксплуатационном состоянии работы РУ на мощности

	Способы реализации функций безопасности[25]													
Номер ФБ[26]	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**	**X**	**XI**	**XII**	**XIII**	**XIV**
Идентификатор группы ИС														
ИС-1	1	5+7	-	-	-	-	-	-	-	-	31	32	33 или 34 или 35	36
ИС-2	1	6	9	-	-	-	-	-	-	30	-	32	33 или 34 или 35	36
ИС-3	1	6	9	-	-	-	-	25	-	30	-	32	33 или 34 или 35	36
ИС-4	2	-	9		-	-	-	26	-	30	-	-	33 или 34 или 35	36
....	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

[25] Номер способов реализации ФБ дается в соответствии с номерами способов реализации ФБ, указанными в таблице Приложения № 6 настоящего Руководства по безопасности.
[26] Номер ФБ дается в соответствии с номерами ФБ, указанными в таблице Приложения № 6 настоящего Руководства по безопасности.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 8
к руководству по безопасности при
использовании атомной энергии
«Рекомендации по формированию
окончательного перечня запроектных аварий,
подлежащих учету в проекте атомных станций
с реакторами типа ВВЭР», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому и
атомному надзору
от 13 августа 2018 г. № 359

Перечни запроектных аварий, представленные в российских нормативных документах

Примерный перечень запроектных аварий для АС с реакторами ВВЭР (федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности блока атомной станции с реактором типа ВВЭР» НП-006-16)

Состояния РУ с работой реактора на мощности (включая МКУ) и состояния останова с разогретым первым контуром:

спектр ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации АС с наложением отказа аварийной защиты;

спектр течей первого контура (в пределах ГО, за пределы ГО в смежные системы, из первого контура во второй) с отказом активных элементов САОЗ (с отказом системы электроснабжения собственных нужд АС нормальной эксплуатации и системы аварийного электроснабжения);

спектр течей из первого контура во второй с отказом изоляции аварийного ПГ (сценарии, не рассмотренные в составе проектных аварий);

длительное полное обесточивание АС (потеря систем электроснабжения собственных нужд АС нормальной эксплуатации и системы аварийного электроснабжения);

большие течи первого контура с дополнительными отказами, приводящими к байпасу[27] ГО;

разрыв трубопровода второго контура с отказом изоляции аварийного ПГ (сценарии, не рассмотренные в составе проектных аварий);

отказ систем нормальной эксплуатации и активных систем безопасности, осуществляющих отвод тепла от РУ и БВ к конечному поглотителю;

---

[27] Байпас ГО – выход теплоносителя первого контура за пределы ГО вследствие нарушения плотности теплообменной поверхности ПГ (возникновения течи из первого контура во второй) или выход теплоносителя за пределы ГО вследствие течи первого контура в смежные системы.

внешние воздействия природного и техногенного характера с интенсивностью превышающей учитываемые в проекте АС, а также сочетания указанных воздействий,

пожары в помещениях АС и на площадке АС (сценарии, не рассмотренные в составе проектных аварий),

затопления в помещениях АС и на площадке АС (сценарии, не рассмотренные в составе проектных аварий),

спектр тяжелых аварий (включая внутрикорпусную и внекорпусную стадии) 1) длительное полное обесточивание АС, приводящее к осушению ПГ и выкипанию теплоносителя первого контура (с принятием мер по снижению давления первого контура и без принятия таких мер), 2) спектр течей первого контура внутри ГО с отказом активных элементов САОЗ приводящих к тяжелому повреждению твэлов в активной зоне, 3) спектр течей из первого контура во второй с отказом активных элементов САОЗ приводящих к тяжелому повреждению твэлов в активной зоне

Состояния с остановленным реактором с неразогретым первым контуром

длительное полное обесточивание АС (потеря систем электроснабжения собственных нужд АС нормальной эксплуатации и системы аварийного электроснабжения),

спектр течей первого контура с наложением дополнительных отказов (сценарии, не рассмотренные в составе проектных аварий),

аварии при хранении и транспортировании топлива,

аварии при обращении с РВ и РАО,

спектр тяжелых аварий

Рекомендуемый перечень запроектных аварий для АС с реакторами типа ВВЭР (руководство по безопасности «Рекомендации к содержанию отчета по углубленной оценке безопасности действующих энергоблоков атомных станций (ОУОБ АС)» РБ-001-05)

Ожидаемые нарушения без срабатывания аварийной защиты (ATWS):

неконтролируемое извлечение группы стержней СУЗ во время пуска или при работе на мощности,

потеря расхода питательной воды,

потеря электроснабжения станции,

потеря вакуума,

останов турбины,

потеря электроснабжения,

закрытие отсечных клапанов на паропроводе,

непреднамеренное открытие ПК ПГ или БРУ-А, или БРУ-К

Другие аварии

полный отказ системы подачи питательной воды (процедура "подпитка-сброс"),

полное обесточивание станции,

малая течь в сочетании с полным отказом системы аварийной подпитки,

полное отключение всех ГЦН,

большая течь не рассмотренная в рамках проектных аварий,

падение самолета,

ударная волна,

землетрясение

Примерный перечень запроектных аварий при хранении и обращении с ядерным топливом (федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах использования атомной энергии» НП-061-05)

возникновение СЦР для систем хранения и обращения с ЯТ,

полное обезвоживание хранилища отработавшего ЯТ,

падение технологического оборудования и строительных конструкций на перекрытие отсеков хранения или хранимое ЯТ,

затопление хранилищ класса 1 водой

ПРИЛОЖЕНИЕ № 9
к руководству по безопасности при
использовании атомной энергии
«Рекомендации по формированию
окончательного перечня запроектных
аварий, подлежащих учету в проекте
атомных станций с реакторами типа
ВВЭР», утвержденному приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 13 августа 2018 г. № 359

Примерный перечень процессов, представляющих угрозу целостности физических барьеров при тяжелой аварии на реакторной установке

1. Возгорание, детонация водорода (иных горючих газов) в атмосфере ГО;
2. Недопустимо высокое давление в оборудовании и трубопроводах первого контура[28];
3. Недопустимо высокие реактивные усилия на строительные конструкции в случае повреждения корпуса реактора при высоком давлении в нем;
4. Температурное воздействие кориума на внутреннюю поверхность корпуса реактора;
5. Высокотемпературная ползучесть трубок ПГ;
6. Переопрессовка ГО (перевакуумирование ГО);
7. Проплавление бетонного основания защитной оболочки кориумом[29];
8. Перегрев ГО[30];
9. Повторная критичность активной зоны (кориума);
10. Взаимодействие повреждённой активной зоны (кориума) с водой.

---

[28] В том числе, недопустимое сочетание давления и температуры первого контура, либо скорости расхолаживания первого контура, представляющее угрозу разрушения корпуса реактора по хрупкому механизму, либо вследствие термошока.

[29] Помимо нарушения целостности герметичного ограждения и поступления РВ через проплавленное основание в помещения АС (окружающую среду), взаимодействие кориума и бетона может приводить к образованию в больших количествах горючего моноксида углерода, что может представлять угрозу целостности ГО в случае взрывного горения (детонации) указанного газа.

[30] Например, при поступлении горячих газов от расплавленной активной зоны в атмосферу ГО.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 10
к руководству по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по формированию окончательного перечня запроектных аварий, подлежащих учету в проекте атомных станций с реакторами типа ВВЭР», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13 августа 2018 г. № 359

Пример определения сценариев тяжёлых аварий, подлежащих включению в окончательный перечень запроектных аварий для реакторной установки при работе РУ на мощности (РУ типа ВВЭР-1000)

Перечень физических барьеров и их состояний

Для целей определения сценариев тяжелых аварий на РУ, подлежащих включению в окончательный перечень ЗПА, рассматриваются следующие физические барьеры[31]:

топливная матрица и оболочки твэлов, объединяемые понятием «твэлы» (**FU**);

граница первого контура (**PC**)[32];

корпус реактора (**RV**);

герметичное ограждение реакторной установки (**CN**).

Выделяются следующие градации состояний физических барьеров (для удобства обозначаемые буквоцифровым кодом):

Граница первого контура (PC)

PC 0 - граница первого контура не повреждена;

PC 1 - очень малые и малые нарушения целостности границы первого контура внутри ГО;

PC 2 - средние и большие нарушения целостности границы первого контура внутри ГО;

PC 3 - выпаривание теплоносителя первого контура через ИПУ КО;

[31] В скобках после названия физического барьера указывается присвоенное ему для целей последующего анализа, представленного в настоящем Приложении № 10, буквенное обозначение.

[32] В части, не связанной с целостностью корпуса реактора. Состояние корпуса реактора рассматривается отдельно.

PC 4 – нарушения целостности границы первого контура в ПГ[33];

PC 5 – нарушения целостности первого контура, приводящие к течи за пределы ГО в смежные системы[34].

Твэлы (FU)

FU 1 - повреждение твэлов активной зоны не превышает пределов, установленных для проектных аварий (возможна стопроцентная разгерметизация оболочек твэлов);

FU 2 - тяжелое повреждение активной зоны с превышением установленных проектных пределов для проектных аварий), охлаждаемая геометрия активной зоны (или большей ее части) не нарушена;

FU 3 - нарушение охлаждаемой геометрии активной зоны, разрушение или расплавление ядерного топлива.

Корпус реактора (RV)

RV 0 - корпус реактора не поврежден;

RV 1 - разрушение корпуса реактора при высоком давлении в первом контуре;

RV 2 - разрушение корпуса реактора при низком давлении в первом контуре.

Герметичное ограждение реакторной установки (CN):

CN 0 - утечка через неплотности ГО не превышает величины проектной утечки;

CN 1 - повреждение ГО с размерами неплотностей, превышающими проектное значение утечки, к моменту возникновения аварии или на начальном периоде аварии. Причинами таких неплотностей могут быть незакрытие изолирующих устройств на проходках через ГО или повреждение ГО вследствие воздействий аварийных процессов (давления, температуры, летящих предметов, ударных воздействий при детонации горючих газов и т.п.). Наличие подобных неплотностей приводит к аварийному выбросу РВ за пределы ГО;

CN 2 - повреждение ГО вследствие проплавления бетонного основания, приводящее к выходу кориума в помещения АС и выбросу РВ в окружающую среду;

---

[33] При необходимости течи из первого контура во второй, а также течи из первого контура за пределы ГО в смежные системы также могут быть дифференцированы по размеру течи (на очень малые и малые, с одной стороны, и на течи большего размера, с другой стороны).

[34] Строго говоря, представленная номенклатура состояний границы первого контура не вполне совершенна, т.к. выделенные состояния не являются взаимоисключающими – например, нельзя исключать одновременную течь в пределах ГО и течь за пределы ГО. При необходимости данный недостаток может быть устранен добавлением в номенклатуру состояний границы первого контура состояний, предполагающих наличие течи как в пределах ГО, так и за пределы ГО.

CN 3 - байпас ГО при течах из первого контура во второй контур или при течах из первого контура за пределы ГО в смежные системы. В рамках данной градации рассматривается также состояние с повреждением теплообменных трубок ПГ, вызванным высокотемпературной ползучестью их металла.

Перечень физических процессов, угрожающих целостности физических барьеров при тяжелой аварии

При анализе учитываются процессы, представляющие угрозу целостности физических барьеров при тяжелой аварии, представленные в Приложении № 9 к настоящему Руководству по безопасности, а именно:

1) возгорание (детонация) водорода (иных горючих газов) в атмосфере ГО;
2) недопустимо высокое давление в оборудовании и трубопроводах первого контура;
3) реактивные усилия и выброс расплава при проплавлении кориумом днища корпуса реактора при высоком давлении в первом контуре;
4) температурное воздействие кориума на корпус реактора;
5) высокотемпературная ползучесть трубок ПГ;
6) переопрессовка ГО;
7) проплавление бетонного основания защитной оболочки кориумом;
8) перегрев ГО.

Реализация угрозы, связанная с первым из указанных явлений (детонацией водорода в ГО), способна перевести герметичное ограждение из состояния **CN 0** в состояние **CN 1**. К таким же последствиям может привести и реализация угроз, связанных с шестым, либо восьмым явлениями из приведенного выше списка.

Реализация угрозы, связанная со вторым из указанных выше явлений, способна привести к переходу из состояния **PC 0** в состояние **PC 2**.

Реализация угрозы, связанная с третьим из указанных выше явлений, способна привести к повреждению патрубков реактора вследствие реактивных усилий, возникающих при проплавлении корпуса реактора кориумом при высоком давлении, а также (возможно) к повреждению целостности ГО. При этом корпус реактора переходит из состояния **RV 0** в состояние **RV 1** , также возможен переход ГО из состояния **CN 0** в состояние **CN 1**.

Реализация угрозы, связанная с четвертым из указанных выше явлений, приводит к нарушению целостности корпуса реактора вследствие проплавления кориумом. При этом корпус реактора переходит из состояния **RV 0** в состояние **RV 1** или **RV 2** (в зависимости от давления в первом контуре).

Реализация угрозы, связанная с пятым из указанных выше явлений, происходит в случае сильного разогрева трубок ПГ (например, в ситуации,

когда имеет место обезвоживание первого контура, с разогревом и повреждением активной зоны, при этом отсутствует теплоотвод от ПГ по второму контуру), что приводит к их разгерметизации и, соответственно, к возникновению байпаса ГО – то есть к переходу ГО в состояние **CN 3**.

Реализация угрозы, связанная с седьмым из указанных выше явлений, способна перевести герметичное ограждение из состояния **CN 0** в состояние **CN 2**.

Уровни тяжести состояния АС

Уровень тяжести состояния АС обозначается четырехзначным цифровым кодом по схеме **[PC] [FU] [RV] [CN]**. Например, код **2100** обозначает состояние блока АС при наличии большого или среднего нарушения целостности границы теплоносителя первого контура с повреждением твэлов в пределах, установленных для проектных аварий и с отсутствием повреждения корпуса реактора и ГО. Если системы безопасности АС сработают в проектном режиме, то данное состояние будет являться стабильным, а сама авария может быть классифицирована как проектная. Если же произойдет невыполнение ФБ, например, не запустятся насосы САОЗ ВД и НД, то произойдет осушение и разогрев активной зоны, и по прошествии определенного времени наступит стадия тяжелого повреждения активной зоны (тяжелая стадия), т.е. блок АС перейдет в состояние **2200**, а затем, после полного нарушения охлаждаемой геометрии, расплавления и обрушения конструкций активной зоны - в состояние **2300**. Дальнейшее развитие данной аварии приведет к проплавлению днища корпуса реактора и выходу расплава топлива в реакторную шахту, т.е. к переходу блока АС в состояние **2320**, а затем – к проплавлению фундамента ГО, т.е. к переходу в состояние **2322**.

Переход к более тяжелому состоянию может быть предотвращен (либо отсрочен) в случае успешного выполнения системами безопасности, специальными техническими средствами для управления ЗПА, иными техническими средствами, а также персоналом АС действий по поддержанию соответствующих ФБ.

Число возможных состояний АС с различными уровнями тяжести состояния АС определяется числом возможных сочетаний градаций состояний физических барьеров. Однако не все полученные таким образом сочетания могут практически реализоваться. Например, повреждение корпуса реактора при низком давлении (состояние **RV 2**) возможно только после существенной деградации охлаждаемой геометрии и полного расплавлении активной зоны, т.е. только при реализации состояния **FU 3**. Повреждение корпуса при высоком давлении (состояние **RV 1**) возможно при отсутствии нарушения целостности границы первого контура или при малом ее нарушении (состояния **PC 0** или **PC 1**), при выпаривании теплоносителя через предохранительные клапаны компенсатора давления (состояние **PC**

3), при нарушении целостности границы первого контура в ПГ (состояние **PC 4**) или при нарушении целостности границы первого контура, приводящей к течи за пределы ГО в смежные системы (состояние **PC 5**).

То же самое относится к состоянию герметичного ограждения **CN 2**. Оно возможно только при разрушении корпуса реактора, т.е. при состояниях **RV 1** и **RV 2**.

CN 3 возможны при неизоляции ПГ с поврежденными ВКУ, образующими границу первого контура, или при работе паросбросных устройств на аварийном ПГ при течах из первого контура во второй контур.

Оставшиеся в результате отсеивания уровни тяжести состояния АС, постулируемые при анализе, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Уровни тяжести состояния АС, постулируемые при анализе

Состояния физических барьеров				Количество уровней тяжести	Коды уровней тяжести
Первый контур (PC)	Твэлы (FU)	Корпус реактора (RV)	Герметичное ограждение (CN)		
0	1	0	0	1	0100
1	1 2	0	0 1	12	1100, 1101 1200, 1201
	3	0	0 1 3		1300 1301 1303
		1	1		1311
		2	0 1 2 3		1320 1321 1322 1323
2	1 2	0	0 1	11	2100, 2101 2200, 2201
	3	0	0 1 3		2300 2301 2303
		2	0 1 2 3		2320 2321 2322 2323

Состояния физических барьеров				Количество уровней тяжести	Коды уровней тяжести
Первый контур (PC)	Твэлы (FU)	Корпус реактора (RV)	Герметичное ограждение (CN)		
3	1 2	0	0 1	12	3100, 3101 3200, 3201
	3	0	0 1 3		3300 3301 3303
		1	1		3311
		2	0 1 2 3		3320 3321 3322 3323
4	1 2	0	0 3	11	4100, 4103 4200, 4203
	3	0	0 3		4300 4303
		1	1 3		4311 4313
		2	0 2 3		4320 4322 4323
5	1 2	0	0 3	11	5100, 5103 5200, 5203
	3	0	0 3		5300 5303
		1	1 3		5311 5313
		2	0 2 3		5320 5322 5323

Обобщенные деревья событий

Разработку обобщенных деревьев событий целесообразно выполнять для исходных событий, определяющих состояния границы первого контура (**РС**). При этом все сценарии аварий разделяются на пять групп в соответствии с выделенными группами состояний границы первого контура:

переходные процессы без течей первого контура;

малые и очень малые течи из первого контура внутри ГО;

средние и большие течи из первого контура внутри ГО;

течи из первого контура во второй контур;

течи первого контура за пределы ГО в смежные системы.

В заголовках обобщенного дерева событий слева направо размещаются названия исходных и промежуточных событий, а справа располагаются характеристики конечных состояний (уровни тяжести и их коды).

Ниже приводятся обобщенные деревья событий для каждой из пяти приведенных выше групп состояний границы первого контура. В обобщенных деревьях событий ФБ и меры по управлению аварией представляются в обобщенном виде.

Аварии без нарушения целостности границы первого контура

В данную группу сценариев входят ЗПА без нарушения целостности границ первого контура (**РС 0**)[35], Невыполнение ФБ обеспечения подкритичности реактора и (или) отвода тепла от реактора к конечному поглотителю этих функций может привести при этих ЗПА к выкипанию теплоносителя первого контура через предохранительные клапаны компенсатора давления (**РС 3**) с последующим оголением и тяжелым повреждением активной зоны вплоть до ее полного расплавления и возможным разрушением корпуса реактора при высоком или низком давлении. Еще одним потенциальным механизмом, вызывающим разрушение корпуса реактора может быть недопустимое сочетание давления и температуры в первом контуре, не соответствующее критериям хрупкой прочности, а также быстрое расхолаживание со стороны второго контура, приводящее к чрезмерному температурному воздействию на корпус реактора. При этом степень повреждения активной зоны, а также условия повреждения корпуса реактора (высокое или низкое давление в первом контуре), будут зависеть от эффективности мероприятий, предпринимаемых для управления такими авариями с целью предотвращения тяжелых последствий.

---

[35] Аварии, связанные с нарушениями реактивности, отказами, вызывающими срабатывание аварийной защиты реактора, несанкционированными срабатываниями аварийной защиты, нарушениями нормального отвода тепла от активной зоны к конечному поглотителю, течами паропроводов и трубопроводов питательной воды, нарушениями в обеспечивающих системах (электроснабжения собственных нужд, технической воды, вентиляции и др.).

На рисунке 3 представлено обобщенное дерево событий для аварий без нарушения целостности границы первого контура (за исключением сценариев с термошоковым воздействием на корпус реактора при разрывах трубопроводов второго контура, требующих отдельного анализа). В качестве промежуточных событий рассмотрены следующие ФБ и меры по управлению аварией:

А - приведение и поддержание реактора в подкритическом состоянии;

Р - поддержание запаса теплоносителя в первом контуре и отвод тепла от активной зоны;

ZO – изоляция ГО (в составе этой функции безопасности рассматривается изоляция ГО, а также обеспечение целостности ГО - принятие мер против недопустимого повышения давления, против повреждения ГО вследствие прямого нагрева, а также против детонации горючих газов, в том числе за счет работы спринклерной системы, системы удаления водорода, контролируемого выброса за пределы ГО):

P_1 - меры по управлению аварией, реализация которых ограничивает повреждение активной зоны пределами, установленными для проектных аварий;

P_2 - меры по управлению аварией, реализация которых предотвращает полное расплавление поврежденной активной зоны;

P_3 - меры по управлению аварией, реализация которых предотвращает повреждение корпуса реактора[36];

L - снижение давления в первом контуре для предотвращения повреждения корпуса реактора при высоком давлении;

ZO_1 – меры по управлению аварией, реализация которых предотвращает проплавление основания ГО,

ZO_2 – меры по управлению аварией, реализация которых предотвращает высокотемпературную ползучесть трубок ПГ.

В качестве исходного события принято полное обесточивание собственных нужд АС (потеря внешнего электроснабжения АС с отказом РДЭС на запуск)

Состояния физических барьеров на этом и последующих деревьях событий соответствуют приведенным выше в разделе «Перечень физических барьеров и их состояний» настоящего Приложения № 10 к Руководству по безопасности.

[36] Указанные меры охватывают также действия по недопущению превышения давления первого контура до недопустимых значений в случае отказа на открытие (или последующего отказа при работе) ИПУ КО

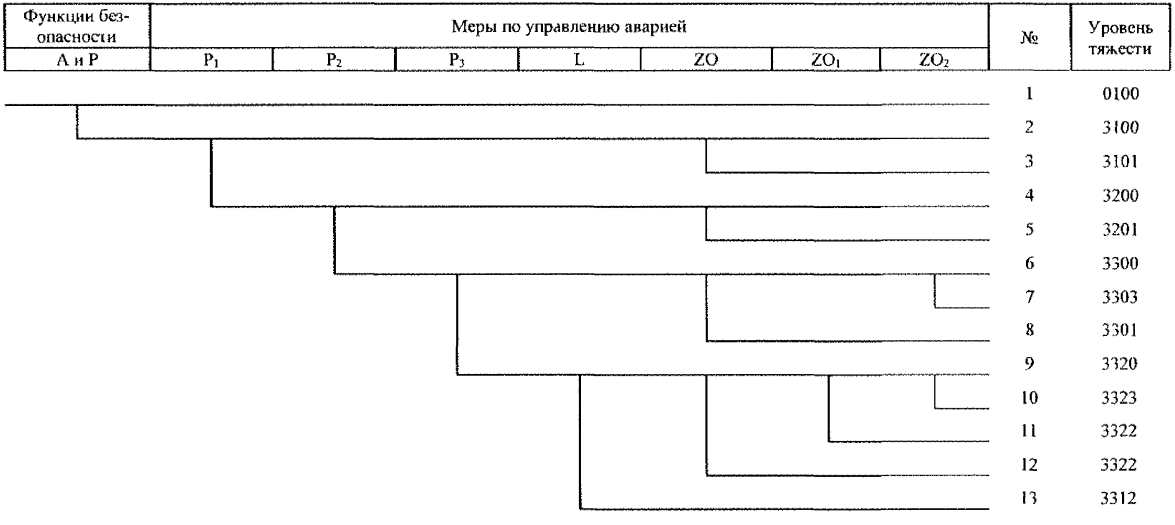


Рисунок 3. Обобщенное дерево событий для аварии без нарушения целостности границы первого контура

Конечное состояние, характеризующееся уровнем тяжести **0100**, возникающее в случае реализации аварийной последовательности 1, соответствует проектному протеканию процессов, при котором отсутствуют повреждения физических барьеров сверх проектных пределов.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3100** возникает в случае реализации аварийной последовательности АП 2. Эта АП соответствует непроектному протеканию переходных процессов, вследствие, например, невыполнения ФБ отвода тепла через второй контур на начальном этапе аварийного процесса. Такое развитие аварийных процессов может привести к выкипанию части теплоносителя первого контура через предохранительные клапаны (**РС 3**). Дальнейшее протекание аварии в соответствии с АП 2 предполагает, что используемые меры по управлению ЗПА предотвращают более тяжелые повреждения активной зоны, в результате чего не создаются условия для повреждения корпуса реактора при высоком давлении. Состояние защитной оболочки для АП 2 соответствует проектным условиям. Состояние **3100** реализуется при ЗПА, не имеющих тяжелых последствий.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3101** (АП 3) отличается от состояния с уровнем тяжести **3100** тем, что размеры неплотностей в ГО превышают проектные пределы. Это может привести к выбросу выделяющихся в процессе аварии РВ в окружающую среду и превышению установленных проектных пределов по радиационному воздействию для проектных аварий.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3200** (АП 4) характеризуются тяжелым повреждением топлива в активной зоне, степень которого превышает установленные для проектных аварий пределы (полное нарушение охлаждаемой геометрии и расплавление активной зоны при этом предотвращается благодаря принимаемым мерам по управлению аварией), отсутствием повреждения корпуса реактора и размерами неплотностей в ГО, не превышающими проектных пределов. Следует, однако, отметить, что для состояния **3200** возможно превышение установленных для проектных аварий пределов по радиационному воздействию вследствие повышенного по сравнению с проектными авариями выхода РВ из реакторной установки в объем ГО.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3201** (АП 5) отличается от конечного состояния с уровнем тяжести **3101** большими размерами выбросов РВ в окружающую среду вследствие более тяжелых повреждений активной зоны.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3300** (АП 6) характеризуется разрушением активной зоны, при котором благодаря принимаемым мерам по управлению аварией предотвращается повреждение корпуса реактора

при высоком и низком давлении в первом контуре и сохраняется проектная плотность ГО.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3303** (АП 7) реализуется при неприятии мер по исключению высокотемпературной ползучести трубок ПГ (при расплавленной активной зоне возможен перегрев трубок ПГ с последующим нарушением их целостности в случае отсутствия охлаждения со стороны второго контура), что приводит к возникновению байпаса ГО и поступлению РВ в окружающую среду.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3301** (АП 8) аналогично состоянию с уровнем тяжести **3201** и отличается от него большими размерами выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду вследствие более тяжелых повреждений активной зоны.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3320** (АП 9) характеризуется полным расплавлением активной зоны, повреждением корпуса реактора при низком давлении в первом контуре и отсутствием повреждений ГО, в том числе благодаря принимаемым мерам по предотвращению проплавления основания ГО.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3323** (АП 10) характеризуется полным расплавлением активной зоны, повреждением корпуса реактора при низком давлении в первом контуре и нарушением целостности границы первого контура в ПГ, приводящей к байпасу защитной оболочки и поступлению РВ в окружающую среду вследствие неприятия мер по исключению высокотемпературной ползучести трубок ПГ.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3322** (АП 11. 12) отличается от состояния с уровнем тяжести **3320** тем, что происходит проплавление основания защитной оболочки и выход кориума за ее пределы, что приводит к выбросу РВ за пределы ГО, поступлению горючих газов от взаимодействия кориума с бетоном в ГО, что также может привести к дополнительному повреждению ГО.

Конечное состояние с уровнем тяжести **3311** (АП 13) характеризуется полным расплавлением активной зоны и повреждением корпуса реактора при высоком давлении в первом контуре, что приводит к зависимому повреждению ГО и последующему выбросу РВ в окружающую среду.

Аварии с малым или очень малым нарушением целостности первого контура внутри ГО

В эту группу сценариев входят малые и очень малые течи из первого контура внутри ГО (**РС 1**), возникающие вследствие повреждения трубопроводов первого контура и связанных с ним систем. Эквивалентный диаметр таких течей меньше Ду 50 мм. При течах данной группы энергия, отводимая от твэлов активной зоны в течь, не превышает энергию остаточ-

ных тепловыделений В процессе развития аварии давление в первом контуре снижается, не достигая уставки срабатывания ГЕ САОЗ без принятия дополнительных мер по снижению давления

На рисунке 4 представлено обобщенное дерево событий для данной категории ЗПА, на котором в качестве промежуточных событий рассмотрены следующие обобщенные функции безопасности и меры по управлению авариями

A - приведение и поддержание реактора в подкритическом состоянии,

F - поддержание запаса теплоносителя и отвод тепла от активной зоны,

ZO – изоляция защитной оболочки,

F_1 - меры по управлению аварией, реализация которых ограничивает повреждение активной зоны пределами, установленными для проектных аварий,

F_2 - меры по управлению аварией, реализация которых предотвращает полное расплавление активной зоны,

F_3 - меры по управлению аварией, реализация которых предотвращает повреждение корпуса реактора,

L - снижение давления в первом контуре для предотвращения повреждения корпуса реактора при высоком давлении,

ZO_1 – меры по управлению аварией, реализация которых предотвращает проплавление основания ГО,

ZO_2 – меры по управлению аварией, реализация которых предотвращает высокотемпературную ползучесть трубок ПГ

В качестве исходного события принята малая (Ду50) течь первого контура внутри ГО

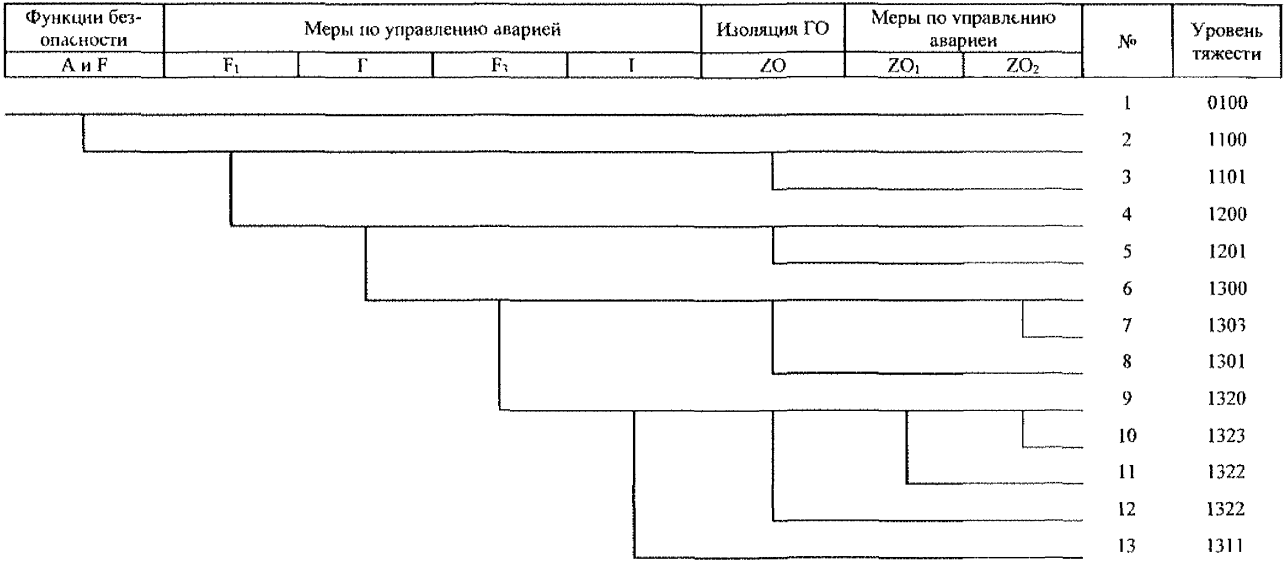


Рисунок 4. Обобщенное дерево событий для аварии с малым и очень малым нарушением целостности границы первого контура

Конечное состояние с уровнем тяжести **1100** (АП 2) возникает при проектном протекании процессов, когда степень повреждения ядерного топлива в активной зоне не превышает пределов, установленных для проектных аварий, отсутствуют повреждения корпуса реактора и состояние ГО соответствует проектным условиям.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1101** (АП 3) отличается от состояния **1100** тем, что размеры неплотностей в ГО превышают значение проектной утечки, что может привести к раннему выбросу выделяющихся в процессе аварии РВ в окружающую среду и превышению установленных проектных пределов по радиационному воздействию для аварийных условий.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1200** (АП 4) характеризуются тяжелым повреждением твэлов в активной зоне, степень которого превышает установленные для проектных аварий пределы, отсутствием повреждения корпуса реактора и размерами неплотностей в ГО, не превышающими проектной утечки. Для состояния **1200** возможно превышение установленных для проектных аварий пределов по радиационному воздействию вследствие повышенного по сравнению с проектными авариями выхода РВ из реакторной установки в объем ГО.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1201** (АП 5) отличается от состояния с уровнем тяжести **1101** большими размерами выбросов РВ в окружающую среду вследствие более тяжелых повреждений активной зоны.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1300** (АП 6) характеризуется полным разрушением активной зоны (существенной деградации охлаждаемой геометрии), при котором, благодаря принимаемым мерам предотвращается повреждение корпуса реактора при высоком и низком давлении в первом контуре и сохраняется проектная плотность ГО.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1303** (АП 7) реализуется при неприятии мер по исключению высокотемпературной ползучести трубок ПГ (при расплавленной активной зоне возможен перегрев трубок ПГ с последующим нарушением их целостности в случае отсутствии охлаждения со стороны второго контура), что приводит к возникновению байпаса ГО и поступлению РВ в окружающую среду.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1301** (АП 8) аналогично состоянию с уровнем тяжести **1201** и отличается от него большими размерами выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду вследствие более тяжелых повреждений активной зоны.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1320** (АП 9) характеризуется полным расплавлением активной зоны, повреждением корпуса реактора при низком давлении в первом контуре и отсутствием повреждений ГО

благодаря принимаемым мерам по предотвращению проплавления основания ГО.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1323** (АП 10) реализуется при неприятии мер по исключению высокотемпературной ползучести трубок ПГ (при расплавленной активной зоне возможен перегрев трубок ПГ с последующим нарушением их целостности в случае отсутствии охлаждения со стороны второго контура), что приводит к возникновению байпаса ГО и поступлению РВ в окружающую среду.

Конечное состояние с уровнем тяжести 1**322** (АП 11, 12) отличается от состояния с уровнем тяжести **1320** тем, что происходит проплавление основания ГО и выход кориума за ее пределы, что приводит к позднему выбросу радиоактивных веществ за пределы ГО.

Конечное состояние с уровнем тяжести **1311** (АП 13) характеризуется полным расплавлением активной зоны и повреждением корпуса реактора при высоком давлении в первом контуре. что приводит к зависимому повреждению ГО и последующему выбросу РВ в окружающую среду.

Средние и большие нарушения целостности границы первого контура внутри ГО

В эту группу сценариев входят средние и большие течи из первого контура внутри ГО (**РС 2**), возникающие вследствие повреждения трубопроводов (оборудования) первого контура и связанных с ним систем, размеры которых превышают Ду 50, когда энергия, отводимая от активной зоны с истекающим теплоносителем больше энергии остаточных тепловыделений.

На рисунке 5 для данной категории ЗПА представлено обобщенное дерево событий, на котором в качестве промежуточных событий рассмотрены следующие функции безопасности и меры по управлению ЗПА:

А - приведение и поддержание реактора в подкритическом состоянии (требуется для средних течей первого контура, не требуется для больших течей);

Н - поддержание запаса теплоносителя и отвод тепла от активной зоны;

ZO – изоляция ГО;

H_1 - меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает полное расплавление активной зоны (предотвращает нарушение охлаждаемой конфигурации активной зоны);

H_2 - меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает повреждение корпуса реактора;

ZO_1 – меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает проплавление основания ГО;

ZO_2 – меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает высокотемпературную ползучесть трубок ПГ.

В качестве исходного события принята большая (Ду850) течь первого контура внутри ГО

Конечное состояние с уровнем тяжести **2100** (АП 1) возникает при проектном протекании процессов, когда степень повреждения топлива в активной зоне не превышает пределов, установленных для проектных аварий, отсутствуют повреждения корпуса реактора и значение утечки из ГО не превышает проектную величину

Конечное состояние с уровнем тяжести **2101** (АП 2) отличается от состояния **2100** тем, что размеры неплотностей в ГО превышают проектную утечку, что может привести к раннему выбросу РВ в окружающую среду и превышению установленных проектных пределов для проектных аварий по радиационному воздействию

Конечное состояние с уровнем тяжести **2200** (АП 3) характеризуются тяжелым повреждением топлива в активной зоне, степень которого превышает установленные для проектных аварий пределы (при сохранении охлаждаемой геометрии, по крайней мере, для части активной зоны), отсутствием повреждения корпуса реактора[37] и размерами неплотностей в ГО, не превышающих проектные пределы Следует, отметить, что для состояния с уровнем тяжести **2200** возможно превышение установленных для проектных аварий пределов по радиационному воздействию вследствие повышенного по сравнению с проектными авариями выхода РВ из реакторной установки в объем ГО

Конечное состояние с уровнем тяжести 2201 (АП 4) отличается от состояния с уровнем тяжести **2101** большими размерами выбросов РВ в окружающую среду вследствие более тяжелых повреждений активной зоны

Конечное состояние с уровнем тяжести **2300** (АП 5) характеризуется полным разрушением активной зоны. при котором благодаря принимаемым мерам предотвращается повреждение корпуса реактора при высоком и низком давлении в первом контуре и сохраняется проектная плотность ГО

Конечное состояние с уровнем тяжести **2303** (АП 6) реализуется при неприятии мер по исключению высокотемпературной ползучести трубок ПГ (при расплавленной активной зоне и наличии «гидрозатворов» в петлях ГЦТ возможна реализация режима, приводящего к перегреву трубок ПГ с последующим нарушением их целостности) для случая отсутствия охлаждения со стороны второго контура) Это приводит к возникновению байпаса ГО и поступлению РВ в окружающую среду

---

[37] В отличие от малых течей предполагается, что повреждение корпуса реактора может произойти только при низком давлении

Конечное состояние с уровнем тяжести **2301** (АП 7) аналогично состоянию **2201** и отличается от него большими размерами выбросов РВ в окружающую среду, вследствие более тяжелых повреждений активной зоны

Конечное состояние с уровнем тяжести **2320** (АП 8) характеризуется *полным расплавлением активной зоны* (существенной деградации охлаждаемой геометрии активной зоны), повреждением корпуса реактора при низком давлении в первом контуре и отсутствием повреждений ГО, благодаря принимаемым мерам по предотвращению проплавления основания ГО

Конечное состояние с уровнем тяжести **2323** (АП 9) реализуется при неприятии мер по исключению высокотемпературной ползучести трубок ПГ (при расплавленной активной зоне возможен перегрев трубок ПГ с последующим нарушением их целостности в случае отсутствии охлаждения со стороны второго контура), что приводит к возникновению байпаса ГО и поступлению РВ в окружающую среду

Конечное состояние с уровнем тяжести **2322** (АП 10) отличается от состояния с уровнем тяжести **2320** тем, что происходит проплавление основания защитной оболочки и выход кориума за ее пределы, что приводит к позднему выбросу РВ за пределы ГО

Конечное состояние с уровнем тяжести **2321** (АП 11) отличается от состояния с уровнем тяжести **2320** тем, что имеется неплотность ГО, превышающая значение проектной утечки

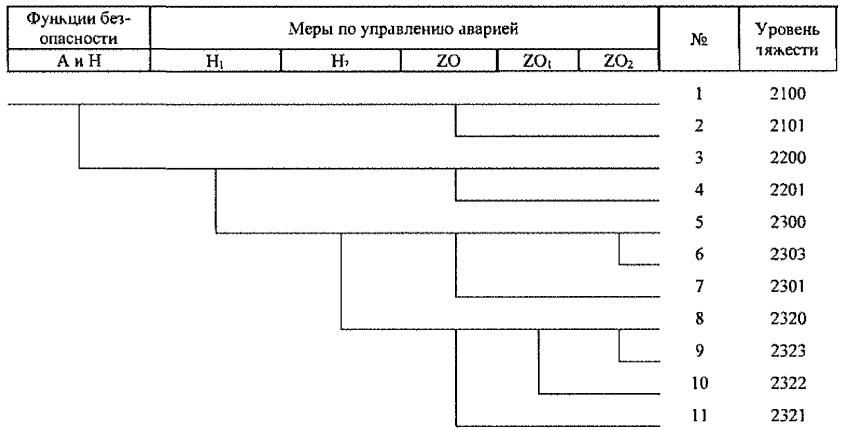


Рисунок 5. Обобщенное дерево событий для аварий с большим и средним нарушением целостности границы первого контура в пределах ГО

Нарушения целостности первого контура в ПГ

Течи из первого контура во второй контур (**РС 4**) возникают вследствие разрывов одной или нескольких теплообменных трубок, повреждений коллектора или отрыва крышки коллектора парогенератора.

ЗПА при таких событиях могут возникать вследствие невыполнения функций безопасности, связанных с приведением и поддержанием реактора в подкритическом состоянии, поддержанием запаса теплоносителя в активной зоне, отвода тепла от активной зоны и изоляцией аварийного парогенератора от второго контура и окружающей среды.

На рисунке 6 представлено обобщенное дерево событий для ЗПА данной категории.

Заголовки промежуточных событий имеют следующий смысл:

A – перевод и поддержание реактора в подкритическом состоянии;

Z - изоляция аварийного парогенератора по второму контуру;

R - поддержание запаса теплоносителя и отвод тепла от активной зоны при изолированном аварийном ПГ;

R_1 - меры по управлению ЗПА, реализация которых ограничивает повреждение активной зоны пределами, установленными для проектных аварий при изолированном аварийном ПГ;

R_2 - меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает полное расплавление активной зоны при изолированном аварийном ПГ;

R_3 - меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает повреждение корпуса реактора при изолированном аварийном ПГ;

L - снижение давления в первом контуре для предотвращения повреждения корпуса реактора при высоком давлении при изолированном аварийном ПГ;

Z_0 - поддержание запаса теплоносителя и отвод тепла от активной зоны при неизолированном аварийном ПГ;

Z_1 - меры по управлению ЗПА, реализация которых ограничивает повреждение активной зоны пределами, установленными для проектных аварий при неизолированном аварийном ПГ,

Z_2 - меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает полное расплавление активной зоны при неизолированном аварийном ПГ;

Z_3 - меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает повреждение корпуса реактора при неизолированном аварийном ПГ;

ZO_1 – меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает проплавление основания ГО:

ZO_2 – меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает байпас ГО (в том числе вследствие высокотемпературной ползучести теплообменных трубок ПГ).

Конечное состояние с уровнем тяжести **4100** (АП 2) возникает при проектном протекании процессов, когда степень повреждения твэлов активной зоны не превосходит пределов, установленных для проектных ава-

рий и аварийный ПГ изолирован от второго контура и окружающей среды в течение короткого времени после начала аварии

Конечное состояние с уровнем тяжести **4103** (АП 3 и 13) отличается от конечного состояния с уровнем тяжести **4100** более длительным временем до достижения изоляции аварийного ПГ (за счет реализации мер по управлению ЗПА), в результате чего возможен выброс большого количества теплоносителя вместе с выделяющимися в процессе аварии РВ в *окружающую среду*

Конечное состояние с уровнем тяжести **4200** (АП 4) отличается от состояния с уровнем тяжести **4100** большей степенью повреждения активной зоны Существенная деградация охлаждаемой геометрии вследствие расплавления активной зоны предотвращается благодаря мерам по управлению ЗПА

Конечное состояние с уровнем тяжести **4203** (АП 5 и 14) отличается от состояния с уровнем тяжести **4103** большей степенью повреждения активной зоны

Конечное состояние с уровнем тяжести **4300** (АП 6) соответствует полному расплавлению активной зоны, однако благодаря мерам по управлению ЗПА предотвращается повреждение корпуса реактора

Конечное состояние с уровнем тяжести **4303** (АП 7 и 15) отличается от состояния с уровнем тяжести **4203** большей степенью повреждения активной зоны (утрачивается охлаждаемая геометрия активной зоны)

Конечное состояние с уровнем тяжести **4320** (АП 8) характеризуется полным расплавлением активной зоны, повреждением корпуса реактора при низком давлении в первом контуре и отсутствием повреждений герметичного ограждения благодаря мерам по предотвращению проплавления основания защитной оболочки

Конечные состояния с уровнем тяжести **4322** (АП 9) и **4323** (АП 16) отличаются от состояния с уровнем тяжести **4320** тем, что в указанных состояниях либо происходит проплавление основания ГО и выход кориума *за его пределы с соответствующим выбросом РВ в окружающую среду*, либо к моменту разрушения корпуса реактора имеет место байпас ГО

Конечные состояния **4311** (АП 10) и **4313** (АП 11 и 17) характеризуются повреждением корпуса реактора при повышенном давлении в первом контуре и зависимым отказом системы ГО либо наличием байпаса ГО

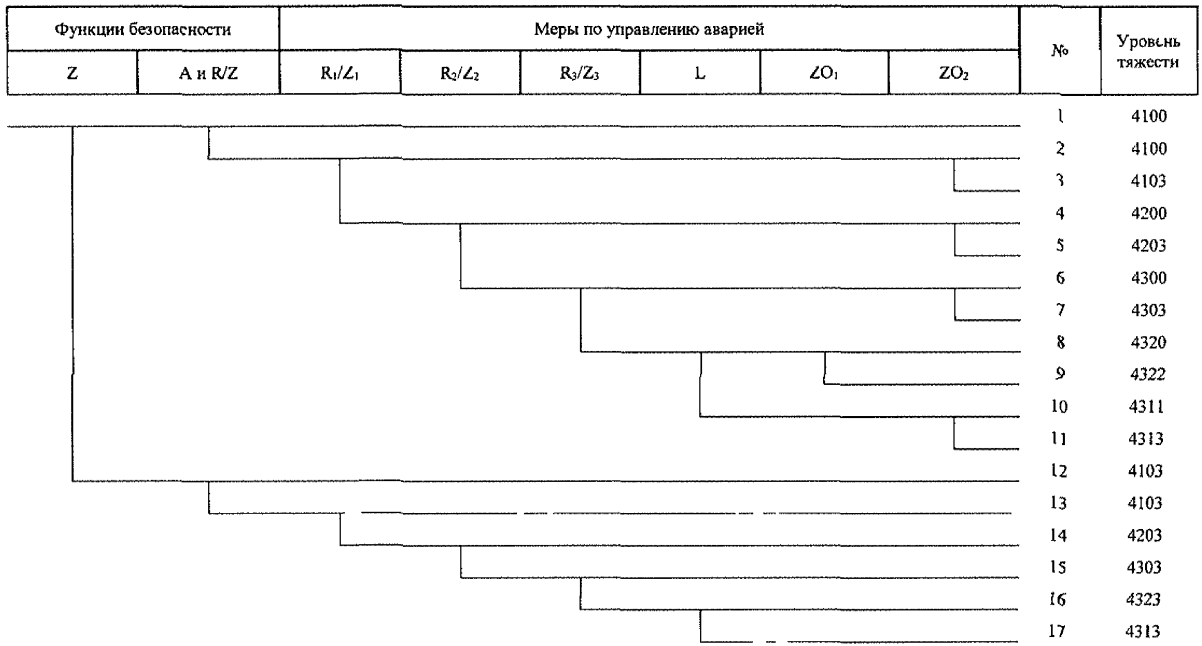


Рисунок 6 Обобщенное дерево событий для аварий с нарушением целостности границы первого контура в ПГ

Нарушение целостности первого контура, приводящее к течи за пределы ГО в смежные системы

Течи за пределы ГО (**РС 5**) возникают вследствие разрывов трубопроводов систем, связанных с первым контуром (например, системы подпитки-продувки) за пределами защитной оболочки

ЗПА при таких событиях могут возникать вследствие невыполнения ФБ, связанных с изоляцией места течи от первого контура, приведением и поддержанием реактора в подкритическом состоянии, поддержанием запаса теплоносителя в активной зоне, отвода тепла от активной зоны

На рисунке 7 представлено обобщенное дерево событий для ЗПА данной категории

Заголовки промежуточных событий имеют следующий смысл

С – изоляция ГО,

А – перевод и поддержание реактора в подкритическом состоянии,

Р - поддержание запаса теплоносителя и отвод тепла от активной зоны,

$\mathbf{P_1}$ - меры по управлению ЗПА, реализация которых ограничивает повреждение активной зоны пределами, установленными для проектных аварий,

$\mathbf{P_2}$ - меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает полное расплавление (существенная деградация охлаждаемой геометрии) активной зоны,

$\mathbf{P_3}$ - меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает повреждение корпуса реактора,

L - снижение давления в первом контуре для предотвращения повреждения корпуса реактора при высоком давлении,

$\mathbf{ZO_1}$ – меры по управлению ЗПА, реализация которых предотвращает проплавление основания ГО,

$\mathbf{C_0}$ - изоляция течи первого контура за пределы ГО в короткое время после начала аварии,

$\mathbf{C_1}$ - изоляция течи в течение времени, когда степень повреждения активной зоны не превышает проектных пределов,

$\mathbf{C_2}$ - изоляция течи в течение времени, когда предотвращается полное расплавление активной зоны,

$\mathbf{C_3}$ - изоляция течи в течение времени, когда предотвращается повреждение корпуса реактора

Аварийные последовательности 1-7, приводящие к конечным состояниям с уровнями тяжести, соответственно, 0, 2, 4, 6, 7, 9 реализуются при изоляции течи в короткое время после начала аварии и их последствия аналогичны последствиям для переходных режимов (РС 0)

Аварийные последовательности 8-13, приводящие к конечным состояниям с уровнями тяжести, соответственно, 0, 1, 3, 5, 8, 9 реализуются при неизоляции течи в течение различных времен, что приводит к выбросам вследствие наличия байпаса ГО

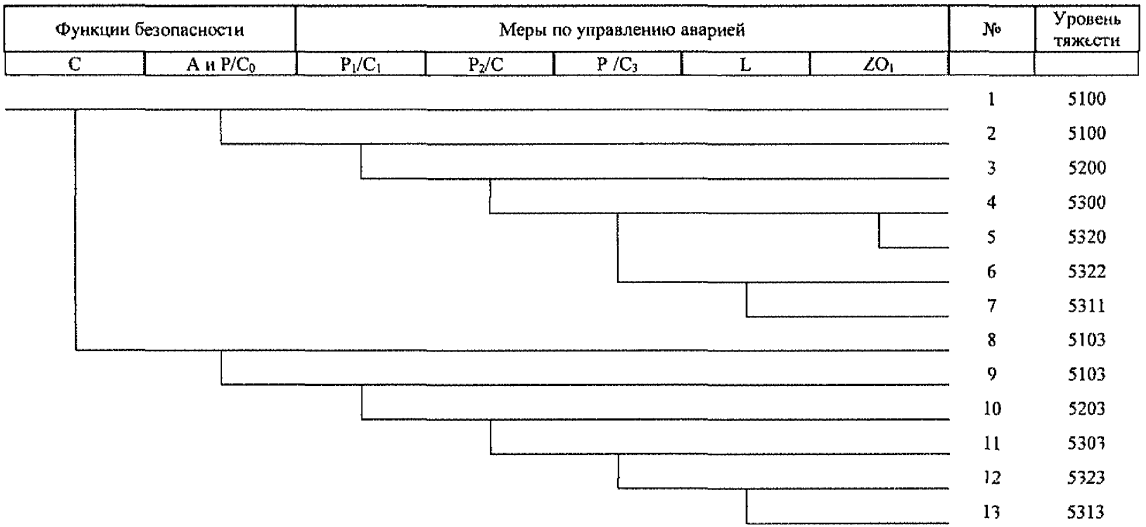


Рисунок 7. Обобщенное дерево событий для аварий с нарушением целостности первого контура, приводящих к течам в смежные системы

Определение сценариев тяжелых аварий для включения в окончательный перечень запроектных аварий

На основании анализа обобщенных ДС, представленных выше, определяются сценарии тяжелых аварий, подлежащих включению в окончательный перечень ЗПА. Сценарии тяжёлых аварий, включаются в указанный перечень таким образом, чтобы они в своей совокупности охватывали все имеющиеся в обобщенных ДС уровни тяжести. Ниже в таблице 3 перечислены сценарии тяжелых аварий, охватывающие все уровни тяжести, имеющиеся на ДС, приведенных на рисунках 3-7, и подлежащие включению в окончательный перечень ЗПА.

Таблица 3.

Пример детального представления сценариев тяжелых аварий, подлежащих учету в окончательном перечне ЗПА

Уровень тяжести АС	Обобщенное ДС	Аварийный сценарий	Примечания
3200	Рисунок 3	1. Длительное полное обесточивание АС, приведшее к выкипанию воды в ПГ, теплоносителя первого контура (через ИПУ КО), оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела, пароциркониевой реакции с выделением водорода в атмосферу ГО.	
3200	-//-	2. Разрыв паропровода ПГ с отказом изоляции аварийного ПГ с наложением длительного полного обесточивания АС, приводящий к выкипанию воды в ПГ, теплоносителя первого контура (через ИПУ КО), оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимально проектного предела, пароциркониевой реакции с выделением водорода в атмосферу ГО.	

Уровень тяжести АС	Обобщенное ДС	Аварийный сценарий	Примечания
3201, 1201	-//-	3. Сценарий 1, сопровождающийся незакрытием изолирующих устройств ГО (либо иной эквивалентной неплотностью ГО, превышающей проектное значение утечки).	Предполагается, что после перехода в тяжелую стадию дальнейшее протекание сценариев 1 и 2 идентично и, соответственно, начиная с указанной стадии, стратегии управления ЗПА идентичны.
3300, 3303	-//-	4. Продолжение развития во времени Сценария 1, приводящее к расплавлению топлива в активной зоне (к полному нарушению охлаждаемой геометрии активной зоны) и к разрушению трубок ПГ вследствие высокотемпературной ползучести	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 1.
3301, 1301	-//-	5. Сценарий 4, сопровождающийся незакрытием изолирующих устройств ГО (либо иной эквивалентной неплотностью ГО, превышающей проектное значение утечки).	
3320	-//-	6. Дальнейшее развитие сценария 4, сопровождающееся принятием мер по снижению давления в первом контуре, приводящее к разрушению корпуса реактора при низком давлении в первом контуре.	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 1.
3322, 1322, 2322, 4322, 5323	-//-	7. Дальнейшее развитие сценария 6 , приводящее к проплавлению бетонного основания и выходу кориума в помещения АС.	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 1.

Уровень тяжести АС	Обобщенное ДС	Аварийный сценарий	Примечания
3312, 1312, 4312, 5313	-//-	8. Дальнейшее развитие сценария 4, приводящее к разрушению корпуса реактора при высоком давлении, проплавлению бетонного основания и выходу кориума в помещения АС.	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 1.
1200, 5203	Рисунок 4	9. Малая течь первого контура в пределах ГО с отказом активной САОЗ, приводящая к оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела.	
1300, 5303	-//-	10. Дальнейшее развитие сценария 9, приводящее к разрушению или расплавлению топлива (к полному нарушению охлаждаемой геометрии активной зоны).	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 9.
1320	-//-	11. Дальнейшее развитие сценария 10, сопровождающееся принятием мер по снижению давления в первом контуре, приводящее к разрушению корпуса реактора при низком давлении в первом контуре.	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 9.
2200	Рисунок 5	12. Большая течь первого контура в пределах ГО с отказом активной САОЗ, приведшее к оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела.	
2201	-//-	13. Сценарий 12, сопровождающийся незакрытием изолирующих устройств ГО (либо иной эквивалентной	

Уровень тяжести АС	Обобщенное ДС	Аварийный сценарий	Примечания
		неплотностью ГО, превышающей проектное значение утечки).	
2300	-//-	14. Дальнейшее развитие сценария 12, приводящее к полному разрушению или расплавлению ядерного топлива (к существенной деградации охлаждаемой геометрии активной зоны).	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 12.
2301	-//-	15. Сценарий 14 сопровождающийся незакрытием изолирующих устройств ГО (либо иной эквивалентной неплотностью ГО, превышающей проектное значение утечки).	
2320	-//-	16. Дальнейшее развитие сценария 12 , приводящее к разрушению корпуса реактора при низком давлении	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 12
4203	Рисунок 6	17. Разрыв трубки ПГ с неизоляцией места течи, приведший к исчерпанию воды в баках активной САОЗ, что приводит к оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела. 18. Разрыв коллектора ПГ с неизоляцией места течи, приведший к исчерпанию воды в баках активной САОЗ, что приводит к оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела.	

Уровень тяжести АС	Обобщенное ДС	Аварийный сценарий	Примечания
4303	-//-	19. Дальнейшее развитие сценария 17, приводящее к полному разрушению или расплавлению топлива (нарушению охлаждаемой геометрии активной зоны).	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 12
4323	-//-	20. Дальнейшее развитие сценария 17, приводящее к разрушению корпуса реактора при низком давлении	Анализ может выполняться совместно с анализом сценарием 12

В таблице 4 приведен альтернативный (обобщенный) способ представления сценариев тяжелых аварий в окончательном перечне ЗПА.

Таблица 4.

Пример обобщенного представления сценариев тяжелых аварий, подлежащих включению в окончательный перечень ЗПА

№	Аварийный сценарий	Примечания
1	Длительное полное обесточивание АС, приведшее к выкипанию воды в ПГ, теплоносителя первого контура (через ИПУ КО), оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела, пароциркониевой реакции с выделением водорода в атмосферу ГО. Аварийный сценарий анализируется как в варианте с успешным закрытием изолирующей арматуры ГО, так и с незакрытием изолирующих устройств ГО (либо иной эквивалентной неплотностью ГО, превышающей проектное значение утечки). Впоследствии аварийный сценарий сопровождается расплавлением активной зоны с об-	При анализе подлежат обоснованию стратегии управления ЗПА на следующих стадиях: – начало повреждения активной зоны (сверх максимального проектного повреждения твэлов, но до существенной деградации охлаждаемой геометрии всех твэлов активной зоны); – существенная деградация охлаждаемой геометрии (плавление) активной зоны, образование кориума (корпус реактора остается целым); – перемещение кориума и взаимодействие расплава с корпусом реактора (принятие мер по снижению давления в первом контуре, принятие мер по предотвращению повреждения

№	Аварийный сценарий	Примечания
	разованием кориума, перемещение кориума вниз внутрикорпусного пространства, взаимодействие кориума с корпусом в условиях принятия и непринятия мер по снижению давления первого контура, а также в условиях принятия и непринятия мер по предотвращению повреждения корпуса реактора. При неуспешности мер по предотвращению проплавления корпуса реактора анализируется проплавление корпуса при высоком и низком давлении первого контура	корпуса реактора, например, за счет охлаждения); – разогрев металла трубок ПГ до температуры начала термической ползучести; – проплавление корпуса реактора при высоком давлении первого контура; – проплавление корпуса реактора при низком давлении первого контура. При обосновании стратегий должны учитываться все возможные процессы в РУ и ГО, оказывающие влияние на целостность физических барьеров и системы, задействованные в выполнении функций безопасности. Обосновываемые стратегии должны описывать порядок (цели) действий персонала как при реализации (угрозы реализации) негативного влияния указанных процессов на физические барьеры и системы, так и при нереализации. Обосновываемые стратегии управления ЗПА должны учитывать, в частности возможность аварийных выбросов в окружающую среду при незакрытии арматуры на границе ГО, при повреждении ГО вследствие детонации водорода, прямого перегрева ГО, а также вследствие повреждения теплообменных поверхностей ГО из-за высокотемпературной ползучести и, соответственно, предусматривать возможные меры, направленные на смягчение последствий указанных выбросов.

№	Аварийный сценарий	Примечания
2	Разрыв паропровода ПГ с отказом изоляции аварийного ПГ с наложением длительного полного обесточивания АС, приводящий к выкипанию воды в ПГ, теплоносителя первого контура (через ИПУ КО), оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимально проектного предела, пароциркониевой реакции с выделением водорода в атмосферу ГО.[38] Впоследствии - расплавление активной зоны с образованием кориума, перемещение кориума вниз внутрикорпусного пространства, взаимодействие кориума с корпусом в условиях принятия и непринятия мер по снижению давления первого контура, а также в условиях принятия и непринятия мер по предотвращению повреждения корпуса реактора. При неуспешности мер по предотвращению проплавления корпуса реактора анализируется проплавление корпуса при высоком и низком давлении первого контура	При анализе подлежит обоснованию стратегия управления ЗПА на следующей стадии: начало повреждения активной зоны (сверх максимального проектного повреждения твэлов, но до существенной деградации охлаждаемой геометрии всех твэлов активной зоны). Стратегии управления на последующих стадиях протекания аварии могут не обосновываться, если показано принципиальное соответствие протекание этих стадий аналогичным стадиям, указанным в аварийном сценарии 1.
3	Малая течь первого контура в пределах ГО с отказом активной САОЗ, приведшее к оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела, пароциркониевой реакции с выделением водорода в атмосферу ГО.	При анализе подлежат обоснованию стратегия управления ЗПА на следующих стадиях: 1. начало повреждения активной зоны (сверх максимального проектного повреждения твэлов, но до существенной деградации охлаждаемой геометрии всех твэлов активной

[38] Предполагается неизоляция по пару аварийного парогенератора (в том числе, вследствие неуспешной работы обратных клапанов).

№	Аварийный сценарий	Примечания
	Аварийный сценарий анализируется как в варианте с успешным закрытием изолирующей арматуры ГО, так и с незакрытием изолирующих устройств ГО (либо иной эквивалентной неплотностью ГО, превышающей проектное значение утечки). Впоследствии аварийный сценарий сопровождается расплавлением активной зоны с образованием кориума, перемещение кориума вниз внутрикорпусного пространства, взаимодействие кориума с корпусом в условиях принятия и непринятия мер по снижению давления первого контура, а также в условиях принятия и непринятия мер по предотвращению повреждения корпуса реактора. При неуспешности мер по предотвращению проплавления корпуса реактора анализируется проплавление корпуса при высоком и низком давлении первого контура.	зоны); 2. существенная деградация охлаждаемой геометрии (плавление) активной зоны, образование кориума (корпус реактора остается целым). Стратегии управления на последующих стадиях протекания аварии могут не обосновываться, если показано принципиальное соответствие протекание этих стадий аналогичным стадиям, указанным в аварийном сценарии 1.
4	Большая течь первого контура в пределах ГО с отказом активной САОЗ, приведшее к оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела, пароциркониевой реакции с выделением водорода в атмосферу ГО. Аварийный сценарий анализируется как в варианте с успешным закрытием изолирующей арматуры ГО, так и с незакрытием изолирующих устройств ГО (либо иной эквивалентной неплотностью ГО, превышающей	При анализе подлежат обоснованию стратегия управления ЗПА на следующих стадиях: 1. начало повреждения активной зоны (сверх максимального проектного повреждения твэлов, но до существенной деградации охлаждаемой геометрии всех твэлов активной зоны); 2. существенная деградация охлаждаемой геометрии (плавление) активной зоны, образование кориума (корпус реактора остается целым)

№	Аварийный сценарий	Примечания
	проектное значение утечки). Впоследствии аварийный сценарий сопровождается активной зоны с образованием кориума, перемещение кориума вниз внутрикорпусного пространства, взаимодействие кориума с корпусом в условиях принятия и непринятия мер по снижению давления первого контура, а также в условиях принятия и непринятия мер по предотвращению повреждения корпуса реактора. При неуспешности мер по предотвращению проплавления корпуса реактора анализируется проплавление корпуса при низком давлении первого контура.	3. разогрев металла трубок ПГ до температуры начала термической ползучести; 4. проплавление корпуса реактора при низком давлении первого контура. 5. проплавление корпуса реактора при низком давлении первого контура. При обосновании стратегий должны учитываться все возможные процессы в РУ и ГО, оказывающие влияние на целостность физических барьеров и системы, задействованные в выполнении функций безопасности. Обосновываемые стратегии должны описывать порядок (цели) действий персонала как при реализации (угрозы реализации) негативного влияния указанных процессов на физические барьеры и системы, так и при нереализации. Обосновываемые стратегии управления ЗПА должны учитывать, в частности возможность аварийных выбросов в окружающую среду при незакрытии арматуры на границе ГО, при повреждении ГО вследствие детонации водорода, прямого перегрева ГО, а также при возникновении байпаса ГО вследствие повреждения теплообменных поверхностей ГО из-за высокотемпературной ползучести и, соответственно, предусматривать возможные меры, направленные на смягчение последствий указанных выбросов.

№	Аварийный сценарий	Примечания
5	Разрыв трубки ПГ с неизоляцией места течи[39], приведший к исчерпанию воды в баках активной САОЗ, что приводит к оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела, пароциркониевой реакции с выделением водорода, впоследствии - расплавление активной зоны с образованием кориума, перемещение кориума вниз внутрикорпусного пространства, взаимодействие кориума с корпусом в условиях принятия и непринятия мер по снижению давления первого контура, а также в условиях принятия и непринятия мер по предотвращению повреждения корпуса реактора. При неуспешности мер по предотвращению проплавления корпуса реактора анализируется проплавление корпуса при высоком и низком давлении первого контура.	При анализе подлежат обоснованию стратегии управления ЗПА на следующих стадиях: – начало повреждения активной зоны (сверх максимального проектного повреждения твэлов, но до существенной деградации охлаждаемой геометрии всех твэлов активной зоны); – существенная деградация охлаждаемой геометрии (плавление) активной зоны. Стратегии управления на последующих стадиях протекания аварии могут не обосновываться, если показано принципиальное соответствие протекание этих стадий аналогичным стадиям, указанным в других аварийных сценариях.
6	Разрыв коллектора ПГ с неизоляцией места течи[40], приведший к исчерпанию воды в баках активной САОЗ, что приводит к оголению активной зоны и повреждению топлива сверх максимального проектного предела пароциркониевой реакции с выделением водорода, впоследствии - расплавление активной зоны с образованием кориума, перемещение кориума вниз внутрикорпусного пространства, взаимодействие кориума с корпусом в условиях принятия и непринятия мер по снижению давления первого контура, а также в условиях принятия и непринятия	При анализе подлежит обоснованию стратегия управления ЗПА на следующей стадии: – начало повреждения активной зоны (сверх максимального проектного повреждения твэлов, но до существенной деградации охлаждаемой геометрии всех твэлов активной зоны). Стратегии управления на последующих стадиях протекания аварии могут не обосновываться, если показано принципиальное соответствие протекание этих стадий аналогичным стадиям, указанным в других аварийных сценариях.

[39] По второму контуру, либо, при наличии ГЗЗ, - по первому контуру.
[40] По второму контуру, либо, при наличии ГЗЗ, - по первому контуру.

№	Аварийный сценарий	Примечания
	мер по предотвращению повреждения корпуса реактора. При неуспешности мер по предотвращению проплавления корпуса реактора анализируется проплавление корпуса при низком давлении первого контура.	

Представленный выше в таблицах 3, 4 перечень сценариев тяжелых аварий для включения в окончательный перечень ЗПА может уточняться после определения для каждого из сценариев перечня систем и действий персонала, которые задействуются в применяемой стратегии управления аварией (после детализации обобщенных деревьев событий до уровня систем (действий персонала), обеспечивающих выполнение ФБ). В результате выполнения уточнения может также возникнуть необходимость разделения выделенных уровней тяжести состояния АС (представленных в таблице 2).

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии

Рекомендации по формированию окончательного перечня запроектных аварий, подлежащих учету в проекте атомных станций с реакторами типа ВВЭР
РБ-150-18

Официальное издание
Ответственный за выпуск Синицына Т.В.
Верстка выполнена в ФБУ «НТЦ ЯРБ» в полном соответствии с приложением к приказу Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13 августа 2018 г. № 359

Подписано в печать 21.08.2018

ФБУ «НТЦ ЯРБ» является официальным издателем и распространителем нормативных актов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
(Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.04.06 № 384),
а также официальным распространителем документов МАГАТЭ на территории России
Тираж 100 экз.
Отпечатано в ФБУ «НТЦ ЯРБ»
Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5

Система менеджмента качества ФБУ «НТЦ ЯРБ» сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2015 и национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 9001-2015



Москва

gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru