ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
(РОСТЕХНАДЗОР)

ПРИКАЗ

17 июля 2019 г. № 284

Москва

Об утверждении руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий»

В целях реализации полномочий, установленных подпунктом 5.3.18 пункта 5 Положения о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401, приказываю:

1. Утвердить прилагаемое к настоящему приказу руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий».

2. Признать утратившим силу приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 9 сентября 2011 г. № 519 «Об утверждении Положения об основных рекомендациях к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних инициирующих событий для всех режимов работы энергоблока атомной станции».

Руководитель А.В. Алёшин

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕНО
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «12» июля 2019 г. № 284

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий» (РБ-024-19)

I. Общие положения

1. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий» (РБ-024-19) (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 8, 22 и 30 федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции» (НП-095-15), утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 августа 2015 г. № 311 (зарегистрирован в Минюсте России 4 сентября 2015 г. № 38807) (далее – НП-095-15), пункта 1.2.9 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 в Минюсте России 2 февраля 2016 г. № 40939) (далее – НП-001-15). При разработке настоящего руководства по безопасности учитывались рекомендации к выполнению ВАБ, содержащиеся в документах МАГАТЭ.

2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее – Ростехнадзор) по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних исходных событий (далее – ИС) для всех режимов эксплуатации (далее – эксплуатационные состояния) блока атомной станции (далее – АС), включая работу на мощности, останов, расхолаживание, перегрузку ядерного топлива, техническое обслуживание и ремонт систем (элементов), разогрев, пуск, а также при транспортировании отработавшего ядерного топлива в пределах блока АС с реакторами любых типов (далее – ВАБ уровня 1 для внутренних ИС).

3. Настоящее Руководство по безопасности предназначено для применения проектными, конструкторскими и эксплуатирующими организациями, а также Ростехнадзором.

4. Рекомендации настоящего Руководства по безопасности распространяются на сооружаемые и эксплуатируемые блоки АС.

5. ВАБ уровня 1 для внутренних ИС может быть выполнен с использованием иных подходов, чем те, которые рекомендованы в настоящем Руководстве по безопасности, при их обоснованности для обеспечения безопасности.

6. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации в части целей, объема выполнения, состава и последовательности выполнения отдельных задач ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, а также содержания и объема отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

7. Список сокращений, используемых в настоящем Руководстве по безопасности, приведен в приложении № 1, термины и определения – в приложении № 2, рекомендуемые структура и состав отчета по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС – в приложении № 3, пример процедуры отбора исходных событий – в приложении № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

II. Общие сведения

8. В соответствии с требованиями пунктов 6 и 9 НП-095-15, ВАБ уровня 1 блока АС выполняется с целью:

расчета суммарной вероятности тяжелых аварий для каждого блока АС на интервале в один год по всем ИС, приводящим к тяжелой аварии, и всем эксплуатационным состояниям блока АС (далее – суммарная вероятность тяжелых аварий для каждого блока АС на интервале в один год) и проверки ее соответствия целевому ориентиру безопасности АС по суммарной вероятности тяжелых аварий для каждого блока АС на интервале в один год;

выявления наиболее значимых для безопасности АС исходных событий, аварийных последовательностей вероятностной модели блока АС, систем (элементов) блока АС, действий персонала;

определения на основе результатов ВАБ уровня 1 мероприятий по обеспечению безопасности блока АС, а также приоритетов их реализации.

9. ВАБ уровня 1 может быть использован для:

выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на суммарную вероятность тяжелых аварий для блока АС на интервале в один год;

качественной оценки соответствия проекта блока АС детерминистическим принципам и требованиям концепции глубокоэшелонированной защиты;

определения мероприятий по обеспечению безопасности блока АС;

оценки надежности систем (элементов), важных для безопасности;

обоснования перечня запроектных аварий;

обоснования перечня исходных событий проектных аварий;

обоснования классификации по влиянию на безопасность систем (элементов) АС;

обоснования руководств по управлению запроектными авариями;

обоснования риск-информативных решений, связанных с безопасностью блока АС;

разработки модели мониторинга риска блока АС;

анализа значимости для безопасности блока АС отступлений от требований нормативных документов;

оценки нарушений в работе АС.

10. ВАБ уровня 1 блока АС рекомендуется выполнять поэтапно.

На первом этапе рекомендуется рассматривать в качестве исходных событий внутренние ИС, в качестве режимов эксплуатации – все возможные эксплуатационные состояния.

На втором этапе рекомендуется рассматривать ИС, вызванные внутренними воздействиями (внутриплощадочные пожары, внутриплощадочные затопления, летящие предметы и другие воздействия), в качестве эксплуатационных состояний – режимы работы блока АС на мощности.

На третьем этапе рекомендуется рассматривать ИС, вызванные внешними воздействиями природного и техногенного происхождения, в качестве эксплуатационных состояний – режимы работы блока АС на мощности.

На четвертом этапе рекомендуется рассматривать ИС, вызванные внутренними воздействиями (внутриплощадочные пожары, внутриплощадочные затопления, летящие предметы и другие воздействия), в качестве эксплуатационных состояний – режимы эксплуатации блока АС, отличные от работы на мощности.

На пятом этапе рекомендуется рассматривать ИС, вызванные внешними воздействиями природного и техногенного происхождения, в качестве эксплуатационных состояний – режимы эксплуатации блока АС, отличные от работы на мощности.

Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации по выполнению указанного выше первого этапа ВАБ уровня 1, являющегося основой для выполнения других этапов полномасштабного ВАБ уровня 1.

11. Выполнение ВАБ уровня 1 для внутренних ИС включает решение следующих задач:

сбор информации, необходимой для выполнения ВАБ уровня 1 для

внутренних ИС;

отбор и группирование эксплуатационных состояний блока АС;

отбор исходных событий;

группирование исходных событий;

моделирование аварийных последовательностей;

анализ надежности систем;

определение показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС;

анализ надежности персонала;

анализ зависимостей;

разработка вероятностной модели блока АС;

определение суммарной вероятности тяжелых аварий и анализ результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

При выполнении ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется применять методологию, основанную на разработке деревьев событий при моделировании аварийных последовательностей и разработке деревьев отказов при моделировании систем, выполняющих функции безопасности.

Порядок выполнения указанных выше задач ВАБ уровня 1 для внутренних ИС (до выполнения окончательного расчета суммарной вероятности тяжелых аварий для блока АС на интервале в один год по всем внутренним ИС) не является строго последовательным и может иметь итеративный характер (задачи могут выполняться параллельно и/или несколько раз исходя из результатов выполнения других задач).

12. Значение суммарной вероятности тяжелых аварий для блока АС рекомендуется рассчитывать на интервале в один год. В случае когда указанная вероятность первоначально рассчитывается для интервала времени, не равного одному году, рекомендуется производить перерасчет вероятности к одному году.

13. ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется выполнять для реального состояния блока АС или его проекта.

Для эксплуатируемых блоков АС рекомендуется использовать актуальные данные из проектной документации (техническое обоснование безопасности, отчет по обоснованию безопасности и другие документы) и эксплуатационной документации (регламент безопасной эксплуатации, инструкции по эксплуатации систем (элементов) и другие документы), данные об опыте эксплуатации (графики пуска и останова, регламенты и планы-графики планово-предупредительного ремонта (далее – ППР), графики несения нагрузки, отчеты о нарушениях в работе и другие документы) и данные об опыте эксплуатации прототипов рассматриваемого блока АС.

Для сооружаемых блоков АС рекомендуется использовать данные из проектной документации (отчет по обоснованию безопасности и другие документы), эксплуатационной документации (регламент безопасной эксплуатации, инструкции по эксплуатации систем (элементов) и другие документы) прототипов блока АС, данные об опыте эксплуатации (графики пуска и останова, регламенты и планы-графики ППР, графики несения нагрузки, отчеты о нарушениях в работе и другие документы) прототипов блока АС.

14. В ВАБ уровня 1 для внутренних ИС сооружаемых и эксплуатируемых блоков АС рекомендуется использовать данные об опыте эксплуатации АС за период, обеспеченный достоверными данными, но не менее пяти лет до даты (года) начала проведения ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

15. При выполнении ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется обосновывать принятые допущения и представлять их в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС. Влияние допущений на результаты ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется исследовать при выполнении анализа чувствительности.

16. Результаты выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних ИС блока АС, включая описание вероятностной модели блока АС, содержащей модели аварийных последовательностей, функциональные события, базисные события с их параметрами, наборы минимальных сечений и вероятности их реализации, а также другие составляющие вероятностной модели блока АС, рекомендуется

представлять в отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

17. Если на одной площадке АС размещено несколько однотипных блоков АС, то допускается распространять результаты ВАБ уровня 1 для внутренних ИС одного блока АС на другие блоки АС при обосновании отсутствия различий в проектах и/или реальных состояниях блоков АС, в организационных и технических условиях эксплуатации, которые могут приводить к изменению вероятностной модели блока АС и суммарной вероятности тяжелых аварий. Результаты обоснования рекомендуется представлять в отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

18. При использовании ссылок на документы, не являющиеся составной частью отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, рекомендуется указывать точные ссылки на разделы, подразделы, пункты, рисунки, таблицы, графики и другие составляющие ссылочных документов.

19. При использовании в ВАБ уровня 1 для внутренних ИС детерминистических расчетов и/или иных исследований (для обоснования моделей аварийных последовательностей, для определения запасов времени у персонала на выполнение действий, для обоснования критериев успеха функций систем, для определения частот ИС и длительности эксплуатационных состояний, а также для определения других составляющих вероятностной модели блока АС и параметров), выполненных для других блоков АС, рекомендуется обосновывать их применимость к блоку АС, для которого выполняется ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, а краткие результаты (в объеме, достаточном для подтверждения обоснования) указанных расчетов и/или исследований, включая обоснование их применимости, рекомендуется приводить в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

20. В отчетных материалах по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется указывать дату, фиксирующую состояние проекта блока АС, для которого выполнен ВАБ уровня 1 для внутренних ИС. Если ВАБ уровня 1 для внутренних ИС блока АС проходил экспертизу, то рекомендуется дать ссылки

на экспертные заключения, замечания которых были учтены в данном ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

III. Отбор и группирование эксплуатационных состояний блока атомной станции

21. Анализ эксплуатационных состояний (далее – ЭС) блока АС рекомендуется выполнять в несколько этапов:

определение возможных ЭС и их характеристик;

определение и отбор видов остановов блока АС;

определение границы между ЭС, которые будут рассматриваться в ВАБ при работе блока АС на мощности (номинальная и пониженная мощность) и в ВАБ для отличных от работы блока АС на мощности режимах эксплуатации (расхолаживание, перегрузка ядерного топлива, техническое обслуживание и ремонт систем (элементов), разогрев);

определение групп ЭС (при необходимости);

определение характеристик групп ЭС.

22. При формировании возможного перечня ЭС блока АС рекомендуется использовать данные, указанные в пункте 13 настоящего Руководства по безопасности, а также результаты расчетных обоснований и другие типы анализов.

23. При формировании перечня ЭС блока АС рекомендуется учитывать:

выведение в ремонт каналов систем безопасности и/или другого оборудования;

виды остановов;

параметры (давление и температура теплоносителя, остаточные тепловыделения в ядерном топливе, уровень в компенсаторе давления (далее – КД) и другие параметры), характеризующие ЭС.

24. Рекомендуется рассматривать следующие виды остановов блока АС:

плановый останов для частичной перегрузки ядерного топлива;

плановый останов для полной перегрузки ядерного топлива;

плановый останов для проведения планового ремонта и/или технического обслуживания;

остановы, вызванные нарушениями нормальной эксплуатации (с выгрузкой и без выгрузки ядерного топлива).

Рекомендуется рассматривать как остановы с расхолаживанием (до «холодного» состояния) реакторной установки (далее – РУ), так и остановы без расхолаживания РУ («горячее» состояние).

25. Допускается объединять ЭС блока АС в группы с целью сокращения количества моделируемых аварийных сценариев. Группирование ЭС рекомендуется производить с учетом:

ИС, возможных в ЭС;

характеристики критичности реактора (находится в критическом или подкритическом состоянии);

мощности остаточного тепловыделения в ядерном топливе (допускается группирование ЭС, характеризующихся меньшими остаточными тепловыделениями, и ЭС, характеризующихся большими остаточными тепловыделениями);

температуры, давления и других параметров теплоносителя реактора;

уровня теплоносителя в реакторе;

степени герметичности контура циркуляции теплоносителя реактора (уплотнен или разуплотнен контур);

количества подключенных к реактору петель контура циркуляции теплоносителя реактора;

местонахождения ядерного топлива;

способа отвода остаточного тепловыделения ядерного топлива;

работоспособности систем, участвующих в выполнении функций безопасности, включая обеспечивающие системы;

наличия или отсутствия средств автоматического включения систем на выполнение функций безопасности;

состояния систем, влияющих на выполнение функций безопасности: все

ли каналы системы находятся в работе или в режиме ожидания или часть каналов находится в неработоспособном состоянии (например, выведены в ремонт);

состояния системы герметичного ограждения (санитарные и транспортные шлюзы открыты/закрыты);

параметров РУ, влияющих на обеспечение прочности корпусного оборудования, включая хрупкую прочность корпуса реактора;

других параметров.

26. При определении параметров ЭС рекомендуется использовать следующие подходы:

мощность остаточных тепловыделений в ядерном топливе рекомендуется принимать равной максимальной величине для данного ЭС;

температуру и давление первого контура в режимах расхолаживания после останова реактора рекомендуется принимать равными значениям, которые соответствуют началу ЭС; в режимах разогрева перед выходом на минимально-контролируемый уровень мощности – значениям, которые соответствуют концу ЭС;

уровень теплоносителя в реакторе для ЭС, в которых он не постоянен (снижается или поднимается), рекомендуется принимать равным минимальному значению для этого ЭС.

27. Если в одну группу включаются ЭС, отличающиеся друг от друга по одному или нескольким параметрам, указанным в пункте 25 настоящего Руководства по безопасности, то при выборе и группировании ИС, а также при моделировании аварийных последовательностей необходимо использовать наиболее неблагоприятные (по влиянию на безопасность блока АС) параметры ЭС, входящих в группу ЭС.

28. Длительность ЭС и групп ЭС рекомендуется определять на основе источников данных, указанных в пункте 13 настоящего Руководства по безопасности.

Для расчета длительности ЭС сооружаемых блоков АС рекомендуется использовать усредненную оценку длительности ЭС прототипов блока АС,

исходя из опыта их эксплуатации. При необходимости рекомендуется учитывать поправку в длительности ЭС, обусловленную различием в длительности плановых остановов сооружаемого блока АС и прототипа блока АС.

Источники данных, указанные в пункте 13 настоящего Руководства по безопасности для определения длительности ЭС и групп ЭС, а также анализ, содержащий сведения о расчете длительности ЭС на основе указанных источников данных, рекомендуется представлять в отчетных материалах по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС. При использовании в расчетах длительности ЭС из любого источника данных, указанных в пункте 13 настоящего Руководства по безопасности, рекомендуется в отчетных материалах приводить сведения об использованных данных из анализируемого источника, связанных с длительностью ЭС.

29. Рекомендуется в состав отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС для сформированных ЭС и групп ЭС включать их описание, а также данные, необходимые для выполнения анализа надежности систем, детерминистических анализов и определения границ между группами ЭС.

IV. Отбор исходных событий

30. Отбор исходных событий выполняется с целью формирования перечня ИС, возникновение которых на блоке АС может приводить к тяжелой аварии.

31. Формирование перечня ИС рекомендуется выполнять в два этапа:

формирование предварительного перечня событий;

формирование окончательного перечня ИС.

32. Для формирования предварительного перечня событий рекомендуется выполнять:

анализ обобщенных перечней ИС (для соответствующего типа реактора и ЭС), рекомендуемых к рассмотрению МАГАТЭ;

анализ перечней ИС, сформированных в ВАБ уровня 1 для внутренних ИС прототипов блока АС;

анализ перечней ИС, требуемых нормативными документами к учету при

анализе проектных и запроектных аварий;

анализ перечней ИС из отчетов по обоснованию безопасности (далее – ООБ), учитываемых при анализе проектных и запроектных аварий;

анализ видов и последствий отказов систем (элементов) блока АС на основе информации, представленной в инструкциях по ликвидации проектных аварий, предаварийных ситуаций и нарушений нормальной эксплуатации, регламенте безопасной эксплуатации блока АС, таблицах защит и блокировок реакторного и турбинного цехов, руководствах по управлению запроектными авариями;

анализ опыта эксплуатации блока АС и прототипов блока АС.

Могут быть дополнительно использованы другие методы, например, метод логических диаграмм.

При формировании предварительного перечня событий, являющихся кандидатами в ИС (далее – событий), рекомендуется представлять в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС в виде таблиц или другом виде перечни ИС из вышеуказанных источников данных, а также результаты анализа видов и последствий отказов для систем (элементов) блока АС и других анализов, включая перечни событий, сформированные на их основе. Описание анализа по формированию предварительного перечня событий, а также его результаты рекомендуется включать в состав отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

33. При формировании предварительного перечня событий рекомендуется учитывать события, вызванные:

отказами систем (элементов), в том числе обеспечивающих систем;

ошибочными действиями персонала, включая действия персонала при проведении регламентных проверок работоспособности систем (элементов) и испытаний систем (элементов);

потерей внешнего электроснабжения блока АС (событие «потеря внешнего электроснабжения АС», вызванная внешними причинами, относится к ИС, обусловленным внешними воздействиями, но ее рекомендуется

рассматривать в ВАБ уровня 1 для внутренних ИС).

34. При формировании предварительного перечня событий рекомендуется учитывать события, которые могут приводить к повреждению твэлов выше максимального проектного предела в любом месте их размещения на блоке АС.

35. Исходной информацией для формирования окончательного перечня ИС является предварительный перечень событий, полученный в соответствии с рекомендациями пунктов 31 – 34 настоящего Руководства по безопасности.

36. Формирование окончательного перечня ИС рекомендуется проводить с использованием критериев отбора событий. Такие критерии рекомендуется разрабатывать и обосновывать для различных режимов эксплуатации блока АС (эксплуатация блока АС на мощности/не на мощности) и приводить (критерии отбора и их обоснование) в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС. В качестве критериев отбора событий в окончательный перечень могут быть, например, использованы следующие условия:

соответствие события определению «исходное событие» согласно НП-001-15;

при возникновении события формирование команды (требования) для автоматического прекращения цепной реакции деления в активной зоне реактора (остановки реактора) и/или автоматического срабатывания систем;

при возникновении события формирование сигнала для остановки реактора персоналом;

соответствие события категории внутренних исходных событий, возникающих при нарушениях нормальной эксплуатации, вызванных отказами систем (элементов), ошибками персонала;

соответствие события рассматриваемому месту размещения твэлов (активная зона реактора, бассейн выдержки ядерного топлива, другое место размещения);

возможность возникновения события при рассматриваемом режиме эксплуатации блока АС.

При формировании окончательного перечня ИС могут быть использованы другие обоснованные критерии отбора ИС.

37. Анализ ИС для режима эксплуатации блока АС на мощности рекомендуется выполнять отдельно от других режимов эксплуатации блока АС.

В первую очередь рекомендуется формировать окончательный перечень ИС для режима работы блока АС на мощности в соответствии с процедурой, изложенной в рекомендациях пунктов 31 – 36 настоящего Руководства по безопасности.

Во вторую очередь рекомендуется формировать окончательный перечень ИС для других режимов работы блока АС в соответствии с процедурой, изложенной в рекомендациях пунктов 31 – 36 настоящего Руководства по безопасности, учитывая сформированный окончательный перечень ИС для режима работы блока АС на мощности.

38. При отборе ИС не рекомендуется исключать из рассмотрения события, удовлетворяющие определению «исходное событие», на основании:

малой вероятности (частоты) возникновения ИС и низкого вклада ИС в вероятность тяжелых аварий;

медленного развития аварии или большого интервала времени между моментом возникновения ИС и моментом остановки реактора (автоматически или персоналом).

39. Рекомендуется в состав отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС включать анализ отбора исходных событий, пример процедуры выполнения которого приведен в приложении № 4 к настоящему Руководству по безопасности.

V. Группирование исходных событий

40. С целью уменьшения количества разрабатываемых логических моделей аварийных последовательностей рекомендуется проводить объединение ИС в группы ИС (группирование ИС).

41. Группирование ИС рекомендуется производить на основе схожести:

сценариев развития аварии и достигаемых конечных состояний;

требований к работе систем блока АС, выполняющих функции безопасности, и действиям персонала (критериев успеха функций систем).

Обоснование группирования ИС рекомендуется включать в состав отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

42. Критерии успеха функций систем, назначаемых для ИС при их группировании, рекомендуется обосновывать детерминистическими расчетами. Результаты детерминистических расчетов рекомендуется представлять в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, по крайней мере, в следующем объеме:

полное и точное название исходного события;

начальные условия;

допущения, принятые в расчете;

перечень учитываемых в расчете отказов систем (элементов);

название программного средства, используемого для проведения расчетов;

рисунки с графиками параметров и/или таблицы со значениями параметров, обосновывающих критерий успеха функций системы и/или модели аварийных последовательностей (далее – АП).

43. Рекомендуется, чтобы критерии успеха функций систем для группы ИС были не менее строгими (консервативными), чем критерии успеха функций систем для каждого ИС, включенного в группу. Рекомендуется соблюдать баланс между минимизацией числа рассматриваемых групп ИС, с одной стороны, и излишним консерватизмом ВАБ, вносимым процедурой группирования ИС, с другой стороны.

44. Для ИС с разрывами/течами трубопроводов границы размеров разрывов трубопроводов, принадлежащих различным группам ИС, рекомендуется определять с помощью детерминистических расчетов, результаты которых рекомендуется представлять в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС в объеме, рекомендуемом пунктом 42 настоящего Руководства по безопасности.

45. Рекомендуется выполнять анализ возможности возникновения ИС в выявленных для анализа ЭС блока АС и сформированных группах ЭС. Не рекомендуется исключать из рассмотрения группу ИС для конкретной группы ЭС, если возникновение даже одного ИС, входящего в группу ИС, возможно хотя бы в одном ЭС, входящем в группу ЭС. Результаты указанного анализа в отчетных материалах по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется представлять в табличном или ином виде.

VI. Моделирование аварийных последовательностей

46. Моделирование АП для групп ИС выполняется для определения:

множества путей протекания аварий с учетом возможных действий персонала;

конечных состояний АП;

критериев успеха функций систем с учетом действий персонала.

Результаты моделирования АП рекомендуется использовать при анализе надежности систем, анализе надежности персонала, разработке вероятностной модели блока АС и определении сценариев для выполнения необходимых детерминистических расчетов.

При разработке моделей АП рекомендуется использовать метод «деревьев событий».

47. Модели АП разрабатываются с учетом особенностей каждой группы ИС и каждой группы ЭС.

48. Рекомендуется определять и описывать в отчетных материалах по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС виды конечных состояний АП. При разработке моделей АП рекомендуется использовать, по крайней мере, следующие виды конечных состояний АП:

конечное состояние АП с повреждением твэлов;

конечное состояние АП без повреждения твэлов.

При разработке моделей АП допускается обоснованное использование других видов конечных состояний АП. Результаты указанного обоснования

рекомендуется представлять в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

49. Интервал времени при моделировании АП рекомендуется обосновывать, но принимать равным не менее 24 ч с момента возникновения ИС. Результаты обоснования рекомендуется включать в состав отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

Интервал времени при моделировании АП рекомендуется расширять в случае, если за его пределами возможно достижение конечного состояния АП с повреждением твэлов по следующим причинам:

исчерпание запасов охлаждающей среды, топлива, масла, сжатых газов при невозможности возобновить эти запасы;

развитие физических процессов, приводящих к конечным состояниям АП с повреждением твэлов.

При обосновании выбранного периода времени моделирования АП рекомендуется исходить из того, что постепенное увеличение указанного периода не должно приводить к скачкообразному увеличению величины вероятности тяжелых аварий. При этом рекомендуется, чтобы интервал моделирования АП превышал время восстановления отказавшего оборудования систем (каналов систем) в условиях функционирования других систем (каналов систем), обеспечивающих безопасность блока АС, относительно рассматриваемой функции.

50. При разработке моделей АП рекомендуется руководствоваться следующим:

моделируемые функции по возможности располагаются начиная от ИС в порядке возникновения необходимости их выполнения с учетом причинно-следственных связей;

модели АП не упрощаются с целью сокращения их размеров, если при этом возможна потеря значимых АП. К значимым АП относятся АП, вклад от которых в вероятность тяжелых аварий для всех АП является

большим, чем 0,01 %;

суммарный вклад неучтенных (неразрабатываемых) АП в вероятность тяжелых аварий не превышает 1 % и учтен при определении суммарной вероятности тяжелых аварий для внутренних ИС.

51. При разработке моделей АП рекомендуется учитывать влияние на работоспособность систем (элементов) условий их работы при развитии аварий: истекающих струй теплоносителя, биений трубопроводов, летящих предметов, ударных волн, вторичных пожаров, температурных деформаций конструкций и других факторов. При этом рекомендуется учитывать зависимость режима работы систем от особенностей анализируемого аварийного процесса, возможность работы одних систем при отказе других систем.

52. Характеристики, на основе которых строятся модели АП, включая физические параметры аварий, пути протекания аварий, достижение конечных состояний АП, критерии успеха функций систем и резервы времени для действий персонала, рекомендуется обосновывать детерминистическими расчетами.

53. Результаты детерминистических расчетов, используемых для обоснования моделей АП, рекомендуется представлять в отчетных материалах по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС в объеме, указанном в пункте 42 настоящего Руководства по безопасности.

VII. Анализ надежности систем

54. Анализ надежности систем выполняется с целью разработки логических моделей систем блока АС, выполняющих функции безопасности, представленных в моделях АП, рассматриваемых в ВАБ уровня 1.

55. Анализ надежности рекомендуется выполнять отдельно для каждой из рассматриваемых в ВАБ функций системы. При этом рекомендуется определять показатели надежности выполнения системами своих функций.

56. Рекомендуется в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 представлять описание систем, выполняющих функции безопасности, в следующем объеме:

назначение системы и краткие характеристики функций, выполняемых системой;

состав системы и ее проектные характеристики;

описание технологической схемы системы;

связи системы с обеспечивающими и управляющими системами;

функционирование системы в режиме нормальной эксплуатации АС и при нарушениях нормальной эксплуатации АС, включая аварии;

блокировки и защиты системы;

порядок проведения технического обслуживания и ремонта системы, включая описание действий персонала;

сведения о периодических проверках и контроле при эксплуатации системы;

пределы и условия эксплуатации системы;

действия персонала по управлению системой во время аварии.

57. Рекомендуется сформировать упрощенную схему системы с указанием элементов, отказы которых включаются в логические модели системы по анализируемым функциям. Исключение элементов системы из логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется обосновывать.

58. В составе анализа надежности системы рекомендуется выполнить:

анализ видов отказов и последствий для всех элементов системы, включая элементы, отказы которых могут вызвать ИС для каждого ЭС блока;

анализ различных возможных зависимостей между элементами системы, каналами систем, системами, обусловленными наличием общих связей или общих обеспечивающих систем, ИС, изменением общих условий работы в ходе аварии;

анализ предусмотренных необходимых действий персонала, при выполнении которых могут быть совершены ошибки («доаварийные» – до возникновения ИС и «послеаварийные» – после возникновения ИС), приводящие к невыполнению системой своих функций;

анализ «отказов по общей причине», то есть групповых отказов,

взаимосвязь которых не может быть явно представлена в логических моделях систем;

расчеты показателей надежности для логических моделей системы по анализируемым функциям.

59. При разработке логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется использовать метод «деревьев отказов».

60. При разработке логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется учитывать все режимы нормальной эксплуатации, ИС, АП, возможность зависимых отказов систем или их каналов от ИС.

61. При разработке логических моделей системы по анализируемым функциям критерии успеха функций систем рекомендуется определять исходя из критериев успеха, определенных при группировании ИС и/или моделировании АП.

62. При разработке логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется анализировать все возможные виды отказов, связанные с изменением состояния элементов систем при переходе энергоблока из режима нормальной эксплуатации в аварийный режим.

63. При разработке логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется учитывать пределы и условия безопасной эксплуатации и обосновывать при необходимости учета в логических моделях систем возможность функционирования системы вне границ указанных пределов и условий.

64. Рекомендуется, чтобы в задачах ВАБ уровня 1 «Анализ надежности систем» и «Определение показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС» использовались одинаковые границы элементов систем и виды отказов элементов систем.

65. Границы элементов системы рекомендуется выбирать таким образом, чтобы был обеспечен учет всех видов отказов, которые могут влиять на способность систем выполнять свои функции, определенные в рамках ВАБ уровня 1.

66. Границы анализируемых систем и уровень детализации моделей систем рекомендуется согласовывать с требованиями к моделируемым функциям, установленными в задаче «Моделирование аварийных последовательностей».

67. Разработку логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется проводить с учетом влияния неработоспособности (неготовности) элементов систем из-за вывода в ремонт или проведения проверки работоспособности (тестирования). Для этого рекомендуется использовать информацию о проверках работоспособности систем, о техническом обслуживании и ремонте систем. При разработке логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется учитывать положения регламента безопасной эксплуатации блока АС в части разрешенных комбинаций выводимых в ремонт элементов систем.

68. Рекомендуется при разработке логических моделей системы по анализируемым функциям учитывать возможные доаварийные и послеаварийные ошибки персонала.

69. При разработке логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется учитывать зависимости успешного выполнения функций системы от природы и характера ИС, особенностей АП, в том числе зависимости, вызванные наличием общих элементов различных систем или наличием общих обеспечивающих систем.

70. При разработке логических моделей системы по анализируемым функциям рекомендуется учитывать зависимости (взаимное влияние) между системами и/или каналами систем, а также учитывать возможность возникновения отказов по общей причине.

71. В случае использования в моделях систем упрощений, при которых одним базисным событием заменяются несколько базисных событий и логические связи между ними, рекомендуется выполнять анализ, подтверждающий отсутствие потери явных и неявных зависимостей, в том числе

зависимостей, вызванных наличием общих элементов различных систем или наличием общих обеспечивающих систем, а также действий персонала.

72. В отчетной документации по ВАБ уровня 1 рекомендуется представлять следующую информацию по анализу надежности каждой рассматриваемой системы:

описание системы с учетом рекомендаций пункта 56 настоящего Руководства по безопасности;

описание функций системы и критерии успеха данных функций для различных аварийных последовательностей ИС и ЭС;

допущения, использованные при разработке логических моделей системы по анализируемым функциям;

границы системы и ее элементов, исходное состояние системы, упрощенную схему системы, перечень исключенных из рассмотрения элементов системы, обоснования исключения элементов из рассмотрения в ВАБ;

перечень элементов системы, их идентификаторы, состояние элементов в режимах ожидания и работы системы, место размещения, рассматриваемые типы отказов, последствия отказов и их влияние на надежность системы, продолжительность работы при аварии, периодичность проверок работоспособности (опробований, тестирования);

перечень базисных событий логических моделей системы по анализируемым функциям, включая события, моделирующие отказы элементов системы, неготовность каналов (элементов) системы из-за вывода в ремонт и на техническое обслуживание;

перечень логических ключей (переключателей логики моделирования системы) в моделях системы по анализируемым функциям;

перечень групп или базисных событий отказов элементов системы (каналов) по общей причине;

перечень базисных событий логических моделей системы по анализируемым функциям, представляющих ошибки персонала, включая доаварийные и послеаварийные ошибки персонала, и указание мест в модели

блока АС, где они учитываются;

идентификаторы событий, с помощью которых учитываются отказы обеспечивающих и управляющих систем;

графические изображения логических моделей системы по анализируемым функциям («деревья отказов» или графы другого вида);

результаты расчетного анализа надежности системы по выполняемым функциям.

VIII. Определение показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС

73. В рамках данной задачи выполняется оценка показателей надежности элементов систем, а также определение вероятности (частоты) ИС, которые являются основой для определения суммарной вероятности тяжелых аварий и определяются одним из следующих путей:

путем обработки статистическими методами данных из опыта эксплуатации исследуемого блока АС (отказы систем (элементов), нарушения в работе блока АС);

путем применения обобщенных данных;

путем расчета с применением вероятностных методов механики разрушений;

путем расчета с использованием логико-вероятностных моделей ИС, вызываемых отказами систем;

путем экспертной оценки или использования иных методов.

74. Рекомендуется оценивать следующие показатели надежности элементов систем:

вероятность отказа на требование и/или интенсивность отказов в режиме ожидания;

интенсивность отказов при работе, при обеспечении герметичности, при сохранении положения или при других видах длительного функционирования;

коэффициент неготовности, обусловленный плановым или неплановым техническим обслуживанием или ремонтом, проверками работоспособности;

среднее время восстановления работоспособности;

вероятность отказа по общей причине или параметры модели отказов по общей причине.

75. Рекомендуется определять виды и обосновывать критерии классификации отказов по видам (отказ на запуск, отказ при работе, отказ на требование).

76. Рекомендуется собирать данные по надежности оборудования с учетом режима эксплуатации блока АС. К таким данным могут относиться время вывода системы (элементов) в ремонт, которое не связано непосредственно с восстановлением системы (элементов), дополнительные выводы систем (элементов) из режима готовности для проведения технического освидетельствования и проверок работоспособности, наработка оборудования, нерегламентные включения/отключения оборудования и другие данные.

77. Расчет вероятностей (частот) ИС рекомендуется выполнять с учетом длительности отдельных групп ЭС и количества операций, потенциально приводящих к ИС в каждой группе ЭС. Если вероятность возникновения ИС является функцией только времени, то вероятность (частота) ИС пропорциональна длительности ЭС. Если ИС вызвано отказами оборудования/ошибками персонала при выполнении регламентных технологических операций, проверок и испытаний, то вероятность (частота) ИС пропорциональна числу операций. Рекомендуется учитывать частоту всех видов остановов блока АС (для ЭС, характерных для определенного вида останова), в котором возникают рассматриваемые ИС.

78. Для обеспечения аддитивности вклада различных групп ЭС в суммарную вероятность тяжелых аварий необходимо рассчитывать вероятности (частоты) ИС на интервале в один год.

79. Рекомендуется, чтобы используемая для расчета вероятностей (частот) ИС статистическая информация о нарушениях в работе блока АС включала сведения о событиях, произошедших в периоды рассматриваемых режимов эксплуатации блока АС.

80. При расчете вероятностей (частот) групп ИС рекомендуется учитывать режим эксплуатации блока АС, а именно:

изменения конфигурации блока АС и систем, например, для обесточивания АС и ИС, вызываемых отказами систем;

изменения параметров блока АС (например, давление, температура и другие параметры);

работы персонала по обслуживанию, ремонту и проверкам систем (элементов).

81. Рекомендуется, чтобы используемая для расчета вероятностей (частот) ИС статистическая информация о нарушениях в работе блока АС включала данные о нарушениях в работе блока АС, вызванных ошибками персонала.

82. Для оценки показателей надежности элементов систем и вероятности (частоты) ИС рекомендуется применять данные, относящиеся к исследуемому блоку АС и блокам-аналогам, а также обобщенные данные, относящиеся к большой совокупности блоков АС различных проектов. Не рекомендуется использование только обобщенных данных при выполнении ВАБ уровня 1 действующих энергоблоков АС.

83. При использовании обобщенных данных рекомендуется приводить ссылки на использованные источники информации, а также сведения об обобщенных данных. Выбор обобщенных данных необходимо обосновывать с точки зрения их применимости для конкретного энергоблока, оборудования, выбранных границ элементов систем и видов отказов, моделируемых в ВАБ уровня 1. В случае использования нескольких источников обобщенных данных рекомендуется описывать и обосновывать подход, принятый для выбора информации из этих источников.

84. Оценку неготовности элементов систем из-за проверок работоспособности рекомендуется выполнять для всех элементов систем, используемых в вероятностной модели блока АС, которые при проверках работоспособности находятся в состоянии, не позволяющем выполнять требуемую функцию.

85. Вероятность отказов по общей причине элементов систем рекомендуется определять с использованием общепринятых методов и данных (например, модель «бета-фактора», модель «альфа-фактора», модель «греческих букв», «биномиальная» модель). Применение других методов рекомендуется обосновывать.

86. Не рекомендуется изменять размерность группы оборудования, подверженного отказам по общей причине, если в конкретной группе ЭС один или несколько каналов системы выведены из работы.

87. Вероятности (частоты) редких ИС, для которых отсутствует надежная статистическая информация из опыта эксплуатации, рекомендуется оценивать с применением вероятностных методов механики разрушения, моделей надежности систем (для ИС, вызываемых отказами систем) или определять методами экспертной оценки.

88. Вероятности (частоты) ИС, вызванные ошибками персонала, рекомендуется определять на основе статистической информации по опыту эксплуатации блока АС или прототипов блока АС. Для оценки вероятностей (частот) ИС, вызванных ошибками персонала, которые были выявлены на основе инженерного анализа проекта (не проявились за время эксплуатации блока АС), могут использоваться методы анализа надежности персонала.

89. В отчетных материалах по ВАБ уровня 1 рекомендуется представлять:

исходные данные, использованные для расчета показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС;

процедуры обработки указанных исходных данных;

допущения, принятые при определении показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС;

показатели надежности элементов систем и вероятности (частоты) ИС (для каждой группы ЭС) с соответствующими характеристиками неопределенности.

IX. Анализ надежности персонала

90. Анализ надежности персонала выполняется с целью определения

конкретных ошибок персонала и/или ошибочных решений, а также их вероятностей в условиях различных АП при возникновении различных ИС (включая ИС, обусловленные собственно ошибками персонала) в различных эксплуатационных состояниях блока АС, при нарушениях нормальной эксплуатации АС, включая аварии.

91. Анализ надежности персонала рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

сбор информации о действиях, выполняемых персоналом при нормальной эксплуатации АС и предписываемых при нарушениях нормальной эксплуатации АС, включая аварии;

описание метода/методов анализа надежности персонала;

определение ошибочных действий (ошибок) персонала, моделируемых в ВАБ уровня 1;

выбор способа включения в вероятностную модель блока АС базисных событий, представляющих действия (ошибки) персонала;

описание принятых допущений и ограничений для анализа ошибок персонала;

первоначальное упрощенное представление действий (ошибок) персонала в логико-вероятностных моделях систем;

проведение отбора значимых ошибок персонала (при необходимости);

проведение детального анализа значимых ошибок персонала;

анализ зависимостей между несколькими действиями персонала;

оценка чувствительности результатов анализа надежности персонала;

документирование результатов анализа надежности персонала.

92. Для выполнения анализа надежности персонала рекомендуется использовать:

инструкции по эксплуатации систем (элементов), регламент безопасной эксплуатации, инструкции по техническому обслуживанию и ремонту и другую эксплуатационную документацию;

детерминистические и иные инженерные расчеты;

результаты тренировок персонала на тренажерах;

результаты интервьюирования и опросов оперативного персонала блока АС.

93. При разработке вероятностной модели блока АС рекомендуется учитывать максимально полный перечень действий персонала:

действия (ошибки) персонала, вызывающие ИС;

доаварийные действия (ошибки) персонала (действия, совершаемые до наступления ИС, которые могут повлиять на готовность систем (элементов) блока АС к работе);

послеаварийные действия (ошибки) персонала (действия, выполняемые персоналом после наступления ИС).

94. В отчетных материалах по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС при анализе действий (ошибок) персонала рекомендуется приводить:

описание методов и подходов, используемых для анализа всех видов действий (ошибок) персонала;

перечень принятых допущений и ограничений;

перечень использованных источников информации;

перечень выявленных ошибок персонала;

характеристики ошибок (например, наименование планового действия, описание действия и возможной ошибки при его выполнении, описание последствий совершения ошибки);

результаты расчета вероятностей всех выявленных ошибок персонала.

95. При анализе доаварийных ошибок персонала рекомендуется рассматривать действия персонала, предусмотренные и возможные при проверках работоспособности, техническом обслуживании и ремонте систем (элементов), вследствие которых системы (элементы) могут оказаться в состоянии неготовности на момент возникновения ИС.

96. Рекомендуется при анализе действий персонала учитывать влияние на действия персонала:

условий, характерных для состояния блока АС (нормальный режим

эксплуатации АС, нарушение нормального режима эксплуатации АС, включая аварии);

ИС;

путей протекания аварий.

97. При выполнении анализа надежности персонала в два этапа с проведением отборочного и детального анализов ошибок персонала рекомендуется обеспечивать консервативность оценок, получаемых на стадии отборочного анализа, с целью предотвращения исключения из анализа значимых ошибок персонала.

98. Отборочный анализ ошибок персонала рекомендуется проводить с целью сокращения объема анализа и проведения дальнейшего детального анализа ошибок персонала для наиболее важных с точки зрения безопасности действий (ошибок) персонала с применением принятых методов анализа надежности персонала. Отборочный анализ ошибок персонала включает в себя:

назначение консервативных (отборочных) величин вероятности для всех действий (ошибок) персонала, включенных в вероятностную модель блока АС;

выполнение расчетов суммарной вероятности тяжелых аварий с использованием отборочных величин вероятности ошибки персонала для определения значимых действий (ошибок) персонала.

99. При расчете вероятностей значимых ошибок персонала рекомендуется использовать методы детального анализа.

100. Детальный анализ ошибок персонала рекомендуется выполнять в несколько этапов:

определение действий (ошибок) персонала, требующих детального анализа;

разработка детальных моделей действий (ошибок) персонала;

сбор информации, необходимой для детальных расчетов вероятностей ошибок персонала;

определение длительности интервалов времени, необходимых для выполнения действий персонала, и предельных сроков выполнения этих

действий;

выполнение детального анализа ошибок персонала, включая расчеты вероятностей ошибок персонала;

уточнение вероятности каждой ошибки персонала в вероятностной модели блока АС.

101. Анализ взаимных зависимостей ошибок персонала рекомендуется проводить на основе анализа минимальных сечений, полученных при расчете вероятности реализации всех АП, характеризующихся конечными состояниями с повреждением твэлов.

102. При анализе зависимостей между несколькими (двумя и более) ошибками персонала рекомендуется учитывать:

связь через принятие одного решения осуществлять несколько действий;

резерв времени, имеющийся в распоряжении персонала на выполнение последующего действия при выполнении и/или невыполнении предыдущего;

взаимосвязь между действиями персонала;

факторы, влияющие на поведение персонала.

103. Расчет характеристик неопределенности вероятностей ошибок персонала рекомендуется проводить, принимая значение фактора ошибки для вероятности ошибки персонала в соответствии с принятым для анализа надежности персонала методом/методами.

X. Анализ зависимостей

104. Анализ явных и неявных зависимостей выполняется в целях выявления и учета их при расчете вероятности тяжелых аварий. Зависимости выявляются как на этапах выполнения отдельных задач ВАБ уровня 1, так и при анализе результатов разных задач.

105. В анализе зависимостей рекомендуется проанализировать и учесть в вероятностной модели блока АС следующие зависимости:

функциональные зависимости между системами;

зависимости между ошибками персонала;

зависимости, связанные с отказами по общей причине;

зависимости критериев успеха от условий аварийных последовательностей (от ИС и ЭС);

неявные зависимости.

106. Рекомендуется выполнять анализ по определению ИС, возникновение которых может приводить к зависимому повреждению или отказу систем (элементов), требуемых для предотвращения тяжелых аварий после возникновения ИС. При выявлении таких ИС рекомендуется их учитывать при отборе ИС и моделировании АП.

107. Анализ неявных зависимостей рекомендуется проводить на основании опыта выполнения других ВАБ уровня 1, опыта эксплуатации, работы специалистов исследуемого энергоблока АС и других энергоблоков АС, а также опыта проектантов систем. При этом рекомендуется выполнять оценку применимости выявленных неявных зависимостей к исследуемому энергоблоку.

108. Рекомендуется выполнять анализ зависимых отказов элементов систем, вызванных причинами, явно не моделируемыми в ВАБ уровня 1 (отказы по общей причине), такими как общность конструкции, изготовления, монтажа, калибровки, условий обслуживания и эксплуатации. Рекомендуется определять перечень групп элементов, подверженных отказам по общей причине, и обосновывать критерии объединения этих элементов в группы.

XI. Разработка вероятностной модели блока АС

109. Вероятностная модель блока АС необходима для расчета суммарной вероятности тяжелых аварий.

110. Рекомендуется в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 приводить:

сведения о программном средстве, использованном для расчета суммарной вероятности тяжелых аварий;

краткое описание составляющих вероятностной модели блока АС, при этом указывать, для каких режимов эксплуатации энергоблока (видов ЭС, видов

останова) разрабатывались модели, для каких групп ИС;

описание подходов, использованных для исключения из вероятностной модели блока АС логических петель и взаимоисключающих базисных событий;

описание использованных способов учета зависимостей между действиями персонала и других зависимостей;

перечень и значения логических переключателей (house event), используемых в вероятностной модели блока АС для формирования изменяемых граничных условий, структурной логики моделей функций систем;

описание способов учета в логических моделях функций систем периодических проверок элементов систем, находящихся в режиме ожидания.

XII. Определение вероятности тяжелых аварий и анализ результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС

111. Значение суммарной вероятности тяжелых аварий рекомендуется определять для всех групп внутренних ИС и всех эксплуатационных состояний блока АС.

112. Для расчета суммарной вероятности тяжелых аварий рекомендуется использовать программное средство, в среде которого разрабатывалась вероятностная модель блока АС.

113. Рекомендуется в составе отчетных материалов по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС приводить:

описание принятых при расчетах допущений и ограничений (например, описание законов распределения времени безотказной работы и времени восстановления элементов систем и вероятности отсечения (исключения) незначащих минимальных сечений);

описание всех наборов логических переключателей, использованных в расчетах суммарной вероятности тяжелых аварий;

описание граничных условий и других условий, использованных при выполнении расчетов суммарной вероятности тяжелых аварий.

114. При выполнении расчета суммарной вероятности тяжелых аварий не рекомендуется вводить ограничения на количество элементов в минимальных

сечениях.

115. Рекомендуется идентифицировать все минимальные сечения, содержащие более одной ошибки персонала. Для всех подобных минимальных сечений рекомендуется учитывать зависимости (при их установлении) между действиями персонала.

116. Расчеты суммарной вероятности тяжелых аварий рекомендуется выполнять методом итераций, изменяя ограничения на исключение из расчета аварийных последовательностей по признакам малой вероятности реализации совокупности событий и отказов систем (элементов), отраженных в минимальных сечениях, или по максимальному количеству элементов в минимальных сечениях до тех пор, пока разница в расчете вероятности тяжелых аварий на окончательной итерации не составит менее 0,1 % от вероятности тяжелых аварий, рассчитанной на предыдущем шаге итерационного процесса.

117. В отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется представлять выводы, полученные на основе анализа результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС. При этом рекомендуется приводить:

суммарную вероятность тяжелых аварий для внутренних ИС и всех ЭС;

оценку соответствия суммарной вероятности тяжелых аварий целевому ориентиру по суммарной вероятности тяжелых аварий, принимая во внимание, что при указанной оценке не учитываются ИС, обусловленные внутренними и внешними воздействиями;

результаты анализа значимости (перечень наиболее значимых факторов, существенно влияющих на суммарную вероятность тяжелых аварий);

результаты анализа чувствительности и неопределенности, связанной с вероятностным характером параметров надежности элементов, наступления исходных событий и совершения ошибок персоналом;

выводы по результатам ВАБ уровня 1 для внутренних ИС;

мероприятия по обеспечению безопасности блока АС, сформулированные на основе результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

118. Результатом анализа значимости являются составляющие вероятностной модели блока АС, в наибольшей степени влияющие на суммарную вероятность тяжелых аварий. При выполнении анализа значимости рекомендуется рассматривать следующие составляющие вероятностной модели блока АС:

ЭС и/или группы ЭС;

ИС и/или группы ИС;

базисные события;

действия (ошибки) персонала.

Рекомендуется детально описывать АП вероятностной модели блока АС, в наибольшей степени влияющие на суммарную вероятность тяжелых аварий.

Рекомендуется выполнять оценки совокупной значимости следующих составляющих вероятностной модели блока АС:

ошибок персонала, видов ошибок персонала, зависимых ошибок персонала;

независимых отказов элементов систем и отказов по общей причине;

неготовности систем (элементов) вследствие проверок работоспособности, технического обслуживания и ремонта;

систем, выполняющих функции безопасности и систем, обеспечивающих выполнение таких функций.

Анализ значимости ЭС и/или групп ЭС и ИС и/или групп ИС рекомендуется основывать на оценке их вклада в суммарную вероятность тяжелых аварий.

Рекомендуется определять значимость составляющих вероятностной модели блока АС как в отношении всех групп ЭС, так и в отношении каждой группы ЭС.

119. Анализ значимости для составляющих модели ВАБ, отличных от ЭС и ИС, рекомендуется выполнять с использованием методов, основанных на оценке снижения (увеличения) вероятности тяжелых аварий при

постулировании максимально (минимально) возможной вероятности реализации событий, соответствующих указанным в пункте 118 настоящего Руководства по безопасности элементам вероятностной модели блока АС.

120. При помощи результатов анализа чувствительности оценивается влияние на полученные результаты различных факторов, идентифицированных при разработке ВАБ уровня 1 для внутренних ИС с учетом их зависимости от принятых допущений.

Анализ чувствительности рекомендуется проводить для следующих факторов:

принятых допущений;

мероприятий по обеспечению безопасности блока АС, рекомендованных к реализации на основании результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

121. Оценки влияния допущений и мероприятий по обеспечению безопасности блока АС на суммарную вероятность тяжелых аварий рекомендуется выполнять как индивидуально для каждого допущения и мероприятия по обеспечению безопасности блока АС, так и в совокупности для всех допущений и мероприятий по обеспечению безопасности блока АС.

122. Результатом анализа неопределенностей является оценка неопределенности (вероятностное распределение) суммарной вероятности тяжелых аварий в зависимости от характеристик неопределенности параметров надежности элементов, частот исходных событий и вероятностей ошибок персонала.

123. При выполнении анализа неопределенностей рекомендуется рассматривать, по крайней мере, неопределенность, связанную с вероятностным характером параметров надежности элементов, наступлением исходных событий, совершением ошибок персоналом.

XIII. Представление результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС

124. В отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется приводить сведения, содержащие результаты выполнения всех

задач ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, указанных в пункте 11 настоящего Руководства по безопасности.

125. В отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС в качестве результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется представлять сведения о:

группах ЭС и их характеристиках;

группах ИС;

вероятностях (частотах) групп ИС;

вероятностях тяжелых аварий (по группам ИС и ЭС).

126. В отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется представлять информацию о вкладе в суммарную вероятность тяжелых аварий групп ИС, АП, систем, базисных событий и других составляющих вероятностной модели блока АС как для всех групп ЭС вместе, так и для каждой из групп ЭС в отдельности. Рекомендуется представлять анализ (обсуждение) полученных результатов.

127. В отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется представлять результаты анализа значимости, чувствительности, неопределенностей. Рекомендуется описывать и интерпретировать результаты, полученные при анализе значимости, чувствительности и неопределенностей.

128. Рекомендуется по результатам ВАБ уровня 1 для внутренних ИС определять мероприятия по обеспечению безопасности блока АС, включая технические и организационные меры по управлению авариями.

129. В отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется излагать выводы, полученные на основе анализа результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, включая:

оценку безопасности блока АС с учетом полученного значения вероятностного показателя безопасности;

перечень выявленных факторов, существенно влияющих на суммарную вероятность тяжелых аварий;

оценку влияния неопределенностей на суммарную вероятность тяжелых аварий;

оценку влияния мероприятий по обеспечению безопасности блока АС, сформированных на основе результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, на суммарную вероятность тяжелых аварий;

оценку достижения цели, поставленной при выполнении ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, указанной в пункте 8 настоящего Руководства по безопасности.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Рекомендации по разработке
вероятностного анализа безопасности
уровня 1 блока атомной станции для
внутренних исходных событий»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» июля 2019 г. № 284

Список сокращений

АЗ – аварийная защита

АП – аварийная последовательность

АС – атомная станция

БВ – бассейн выдержки

ВАБ – вероятностный анализ безопасности

ГЦН – главный циркуляционный насос

ИПУ – импульсное предохранительное устройство

ИС – исходное событие

КД – компенсатор давления

МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии

НД – нормативный документ

ООБ – отчет по обоснованию безопасности

ППР – планово-предусмотрительный ремонт

РАО – радиоактивные отходы

РВ – радиоактивные вещества

РУ – реакторная установка

СУЗ – система управления и защиты

ТВС – тепловыделяющая сборка

твэл – тепловыделяющий элемент

ТОБ – техническое обоснование безопасности

ЭС – эксплуатационное состояние

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Рекомендации по разработке
вероятностного анализа безопасности
уровня 1 блока атомной станции для
внутренних исходных событий»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» июня 2019 г. № 284

Термины и определения

Аварийная последовательность вероятностной модели блока АС (аварийная последовательность) – последовательность событий, наступающих с определенной вероятностью, состоящих из исходного события, пути протекания аварии и конечного состояния аварийной последовательности.

Анализ значимости – анализ влияния отдельных составляющих вероятностной модели блока АС на вероятностные показатели безопасности.

Анализ неопределенности – анализ влияния на вероятностные показатели блока АС возможных неточностей при определении частот ИС, параметров надежности оборудования и вероятностей ошибок персонала, принятых допущений и ограничений анализа, неполноты знаний о развитии физических процессов.

Анализ чувствительности – оценка влияния изменений исходных данных вероятностной модели блока АС на значения вероятностных показателей безопасности блока АС.

Базисное событие – событие, рассматриваемое в качестве элементарного, не зависящего от наступления иных событий и характеризующееся определенным набором количественных вероятностных показателей.

Вероятностная модель блока АС – взаимосвязанная совокупность математических моделей исходных событий, аварийных последовательностей,

систем (элементов), действий персонала, а также значений вероятностных характеристик ИС, надежности систем (элементов), отказов по общей причине, рассматриваемых в вероятностном анализе безопасности, ошибок персонала и других данных, необходимых для оценки вероятностных показателей безопасности блока АС.

Дерево отказов – графическая модель различных параллельных и последовательных сочетаний отказов, которые приведут к реализации заранее определенного нежелательного события.

Дерево событий – граф, отображающий логику путей протекания аварий, используемый для моделирования аварийных последовательностей.

Значимость – количественная характеристика влияния отдельных составляющих вероятностной модели блока АС на вероятностные показатели безопасности.

Источник радиоактивности – элемент или система блока АС, содержащий ядерные материалы, РВ или РАО.

Конечное состояние – установившееся в результате аварии состояние систем и элементов АС.

Критерий успеха – минимальное количество работоспособных систем (элементов) и/или действий персонала, достаточное для успешного выполнения функций систем (элементов).

Логический переключатель (house event) – правило программного средства, определяющее условие расчетов суммарной вероятности тяжелых аварий.

Минимальное сечение – наименьшее сочетание событий (включая отказы элементов, ошибки персонала), в результате которых реализуется интересующее последствие (например, отказ системы). Минимальное сечение представляет собой логическое произведение входящих в него базисных событий, а набор минимальных сечений – логическую сумму отдельных минимальных сечений.

Неопределенность – неоднозначность (нечеткость) вероятностных

показателей безопасности, обусловленная вероятностной природой моделируемых явлений и неполнотой знаний о развитии физических процессов.

Обобщенные данные – данные о вероятностях (частотах) ИС и параметрах надежности систем (элементов), полученные не на основе информации о рассматриваемом блоке АС и/или его прототипах.

Отказ по общей причине – вид зависимого отказа, когда одновременный (или почти одновременный) множественный отказ происходит по единичной причине.

Функциональное событие – функция (заголовок), представленная в графе дерева событий. Реализуется в модели ВАБ в виде дерева отказов (логической модели) систем блока АС, выполняющих соответствующую функцию безопасности.

Частота события – число событий в единицу времени.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Рекомендации по разработке
вероятностного анализа безопасности
уровня 1 блока атомной станции для
внутренних исходных событий»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» июня 2019 г. №284

Рекомендуемые структура и состав отчета по ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий

1. Цели и объем ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий

Рекомендуется представлять следующие сведения:

цели ВАБ уровня 1 для внутренних ИС;

объем исследований (рассмотренные источники радиоактивности, ИС, эксплуатационные состояния);

информацию о моменте времени (дате), определяющем состояния проекта блока АС, для которого выполнен ВАБ;

задачи, решаемые в рамках ВАБ уровня 1 для внутренних ИС;

общие допущения, принятые в ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

В отчетной документации по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС рекомендуется приводить сведения, рекомендации по сбору которых приведены в разделе III настоящего Руководства по безопасности.

2. Краткое описание блока АС

Рекомендуется приводить краткую информацию о площадке размещения блока АС, РУ, контурах циркуляции теплоносителя, контроле и управлении блоком АС, системах основного и аварийного электроснабжения, системах охлаждения основного оборудования, системах, участвующих в выполнении

функций безопасности, и системах, выполняющих функции по управлению запроектными авариями, включая тяжелые аварии. В данном разделе рекомендуется представлять сведения о рассмотренных источниках радиоактивности. Рекомендуется привести ссылки на соответствующие источники, содержащие более детальную информацию.

3. Описание методик, руководств и компьютерных программ

Рекомендуется приводить краткие характеристики методик, руководств и компьютерных программ, используемых для решения следующих задач ВАБ уровня 1 для внутренних ИС:

анализ эксплуатационных состояний;

отбор исходных событий;

группирование исходных событий;

моделирование аварийных последовательностей;

анализ надежности систем;

определение показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС;

анализ надежности персонала;

анализ зависимостей;

разработка вероятностной модели блока АС;

определение вероятности тяжелых аварий и анализ результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

В кратких характеристиках методик, руководств и компьютерных программ, использованных для выполнения каждой из вышеперечисленных задач, рекомендуется приводить ссылки на соответствующие источники, содержащие детальную информацию о методиках, руководствах и компьютерных программах.

4. Отбор и группирование эксплуатационных состояний блока атомной станции

В данном разделе рекомендуется приводить информацию о результатах выполнения задачи ВАБ уровня 1 для внутренних ИС «Анализ эксплуатационных состояний», в частности:

определение ЭС;

информацию о типах остановов блока АС;

информацию обо всех возможных ЭС при работе блока АС на номинальном и/или частичном уровнях мощности, останове блока АС, расхолаживании, ремонте, перегрузке ядерного топлива, разогреве, пуске;

информацию о параметрах ЭС (указываются все основные характеристики (параметры) каждого ЭС в табличной форме);

информацию о состоянии систем (элементов) и параметрах блока АС;

информацию о действиях персонала для каждого ЭС;

информацию о принципах, критериях и результатах группирования выбранных ЭС;

описание групп ЭС.

5. Отбор исходных событий

В данном разделе рекомендуется приводить информацию о результатах выполнения задачи ВАБ уровня 1 для внутренних ИС «Отбор исходных событий», в том числе:

формирование предварительного перечня ИС с учетом сведений из источников информации, указанных в пункте 35 настоящего Руководства по безопасности;

критерии отбора ИС;

описание процесса и результатов анализа отбора ИС;

перечень всех идентифицированных потенциальных ИС;

анализ результатов отбора ИС на основе критериев отбора;

перечень ИС, исключенных из дальнейшего рассмотрения с обоснованием

причин их исключения;

окончательный перечень ИС.

6. Группирование исходных событий

В данном разделе рекомендуется приводить информацию о результатах выполнения задачи ВАБ уровня 1 для внутренних ИС «Группирование исходных событий», в том числе:

информацию о принципах и критериях группирования ИС;

описание процесса группирования ИС, обоснование группирования ИС на основании результатов детерминистических анализов, подтверждающих критерии успеха функций систем для ИС, и результаты группирования ИС;

перечень сформированных групп ИС;

перечень ИС, включенных в каждую группу.

В данном разделе рекомендуется приводить результаты анализа возможности возникновения отдельных ИС/групп ИС к каждой группе ЭС. При этом результаты этого анализа рекомендуется оформлять в виде матрицы соответствия ИС и ЭС.

В данном разделе рекомендуется приводить перечень возможных нефункциональных зависимостей, связанных с ИС (например, «запаривание» в турбинном зале, увеличение вероятности засорения приямка, динамические и термические воздействия на оборудование), идентифицированных в ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

7. Моделирование аварийных последовательностей

В данном разделе рекомендуется приводить информацию о результатах выполнения задачи ВАБ уровня 1 для внутренних ИС «Моделирование аварийных последовательностей», в том числе:

описание моделирования аварийных последовательностей, ИС, проектного протекания аварии, расчетного обоснования АП и критериев успеха;

принятые при моделировании аварийных последовательностей

допущения;

описание конечных состояний аварийных последовательностей;

описание логических моделей функций систем и критериев успеха функций систем;

способы управления оборудованием (автоматически или персоналом);

описание управляющих сигналов;

описание действий персонала по управлению системами (элементами) после возникновения ИС;

результаты детерминистических расчетов, выполненных для обоснования АП и критериев успеха функций систем в объеме, указанном в пункте 46 настоящего Руководства по безопасности.

Модели аварийных последовательностей рекомендуется представлять в составе отчета по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС для каждого ИС (группы ИС), возможного в каждой из групп ЭС.

В данном разделе рекомендуется приводить графические изображения моделей аварийных последовательностей, а также описание АП при успешном функционировании всех систем.

8. Анализ надежности систем

В данном разделе рекомендуется приводить информацию о результатах выполнения задачи ВАБ уровня 1 для внутренних ИС «Анализ надежности систем», в том числе описание:

назначения систем;

функций систем;

режимов работы систем при нормальной эксплуатации АС и при нарушении нормальной эксплуатации АС, включая аварии;

состава систем и ее связей с другими системами;

действий персонала по управлению и обслуживанию систем;

технологических схем систем.

В данном разделе рекомендуется представлять:

упрощенные схемы анализируемой системы;

допущения, принятые при разработке логических моделей функций систем;

описание состояний системы, принятых при разработке логических моделей функций систем;

перечень логических моделей функций систем и их представление в графическом виде;

перечень элементов, рассматриваемых в логических моделях функций систем, с описанием последствий всех видов отказов этих элементов;

описание элементов логических моделей функций систем (логических операторов включения (исключения) частей этих логических моделей в АП, базисных событий, относящихся к действиям оператора, базисных событий, относящихся к отказам по общей причине, и других составляющих вероятностной модели блока АС);

описание способов моделирования зависимых отказов и отказов по общей причине;

описание способов моделирования надежности оборудования и систем с учетом периодических проверок работоспособности, технического обслуживания и ремонта элементов системы.

9. Определение показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС

В данном разделе рекомендуется приводить информацию о результатах выполнения задачи ВАБ уровня 1 для внутренних ИС «Определение показателей надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС», в том числе:

описание базы данных по вероятностям (частотам ИС), показателям надежности элементов систем, характеристикам неготовности элементов систем из-за испытаний, технического обслуживания и ремонта, вероятностям или параметрам моделей отказов по общей причине;

специфические данные и их источники;

подходы, использованные для классификации событий отказов элементов систем, и результаты этой классификации;

исходную статистическую информацию (число событий, полная наработка, наработка на отказ и другие характеристики);

обобщенные данные и их источники;

описание методов и программных средств, использованных для статистической обработки информации;

анализ и результаты оценок показателей надежности оборудования и (вероятностей) частот групп ИС, включая характеристики неопределенности этих оценок;

анализ и результаты оценок вероятностей отказов по общей причине.

10. Анализ надежности персонала

В данном разделе рекомендуется приводить информацию о результатах выполнения задачи ВАБ уровня 1 для внутренних ИС «Анализ надежности персонала», в том числе:

описание методов обработки информации, используемой для анализа надежности персонала;

принятые допущения и ограничения анализа для каждого базисного события, соответствующего действиям персонала;

полученные оценки вероятности ошибок персонала и соответствующие показатели неопределенности для каждого базисного события, соответствующего действиям персонала;

использованные методы и полученные результаты анализа зависимостей между действиями персонала;

перечень выбранных в результате отборочного анализа действий персонала со ссылками на инструкции (при их наличии);

интервалы времени, необходимые для выполнения действий персоналом, предельные сроки выполнения действий, обоснования интервалов времени и предельных сроков, ссылки на детерминистические расчеты;

детальное описание процедуры по определению вероятностей для каждого отобранного действия персонала, включая всю исходную информацию для выполнения анализа (результаты тестов, опросов, интервью в виде описаний, графиков, диаграмм, таблиц или другом виде, а также результаты их обработки);

результаты анализа зависимостей между несколькими (двумя и более) действиями персонала, входящими в отдельные аварийные последовательности или в минимальные сечения;

значения вероятностей отобранных ошибочных действий персонала, оцененных по результатам детального анализа, в том числе значения вероятностей зависимых ошибочных действий персонала.

11. Разработка вероятностной модели блока АС

В данном разделе рекомендуется представлять информацию о разработке вероятностной модели блока АС и ее составляющих, а также о результатах выполнения этой задачи ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

В данном разделе рекомендуется приводить описание:

методологии построения вероятностной модели блока АС;

логических моделей функций систем;

значений логических операторов включения (исключения) различных частей логических моделей функций систем при моделировании АП;

подхода, использованного для исключения логических петель и взаимоисключающих событий;

способа учета зависимостей между действиями персонала и других зависимостей.

12. Определение вероятности тяжелых аварий, анализ и представление результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС

В данном разделе рекомендуется представлять:

результаты и описание процесса расчетов суммарной вероятности тяжелых аварий;

описание допущений, использованных при расчете суммарной вероятности тяжелых аварий;

описание ограничений, принятых в расчете суммарной вероятности тяжелых аварий (порог отсечения по вероятности, порог отсечения незначимых минимальных сечений);

описание наборов логических операторов включения (исключения) при проведении расчетов по каждой модели аварийных последовательностей и каждой аварийной последовательности этой модели.

В данном разделе рекомендуется представлять (в отдельных подразделах) описание процедуры анализа неопределенности, чувствительности и значимости, включая:

допущения, рассматриваемые при анализе неопределенности и чувствительности;

типы неопределенности, для которых проводился анализ;

объем исследований, выполненных при анализе чувствительности;

составляющие модели, для которых проводился анализ значимости;

расчетные параметры, использованные для анализов неопределенности, чувствительности и значимости.

В данном разделе рекомендуется приводить результаты расчетов:

суммарной вероятности тяжелых аварий для каждого источника радиоактивности;

неопределенности и чувствительности в отношении суммарной вероятности тяжелых аварий;

перечень минимальных сечений, вклад которых в суммарную вероятность тяжелых аварий составляет более 0,1 %.

Результаты расчетов вклада в суммарную вероятность тяжелых аварий различных составляющих вероятностной модели блока АС (ИС, АП, базисные события и другие составляющие) представляются отдельно для каждой группы ЭС и для всех групп ЭС.

В данном разделе для каждой группы ЭС и для всех групп ЭС рекомендуется представлять информацию о наиболее значимых АП, включая:

перечень значимых АП в порядке убывания величины их вклада в суммарную вероятность тяжелых аварий;

сведения о каждой значимой АП, в том числе:

ИС;

события отказов систем, входящие в состав наиболее значимых АП;

события отказов элементов систем, вносящие основной вклад в отказ каждой системы;

вклад в суммарную вероятность тяжелых аварий каждой значимой АП;

значимые минимальные сечения и вероятности их реализации.

В данном разделе рекомендуется приводить информацию, полученную при анализе значимости и совокупной значимости для следующих составляющих вероятностной модели блока АС:

ЭС и/или групп ЭС;

ИС и/или групп ИС;

минимальных сечений;

элементов систем;

отказов оборудования из-за ремонта и техобслуживания;

ошибок персонала;

систем.

В данном разделе рекомендуется представлять описание и анализ результатов неопределенности и чувствительности, в том числе:

сведения о влиянии составляющих вероятностной модели блока АС и принятых допущений на суммарную вероятность тяжелых аварий;

оценку влияния неопределенностей на результаты ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

В данном разделе рекомендуется приводить выводы, полученные на основе анализа результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, в том числе:

оценку соответствия суммарной вероятности тяжелых аварий целевому ориентиру безопасности;

перечень выявленных наиболее значимых факторов, существенно влияющих на суммарную вероятность тяжелых аварий;

оценку влияния неопределенностей на суммарную вероятность тяжелых аварий;

оценку достижения целей, поставленных в ВАБ уровня 1 для внутренних ИС.

В данном разделе рекомендуется приводить мероприятия по обеспечению безопасности блока АС, разработанные на основе результатов ВАБ уровня 1 для внутренних ИС, и результаты оценок влияния этих мероприятий на суммарную вероятность тяжелых аварий.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 4
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Рекомендации по разработке
вероятностного анализа безопасности
уровня 1 блока атомной станции для
внутренних исходных событий»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» июня 2019 г. № 284

Пример процедуры отбора исходных событий

Приведенный ниже пример иллюстрирует процедуру отбора исходных событий.

1. Формирование предварительного перечня исходных событий

В предварительный перечень событий в общем случае включены все события, способные вызывать нарушения в работе блока АС, выявляемые при анализе различных доступных источников информации.

При составлении предварительного перечня событий, по крайней мере, учитывались следующие источники информации (в соответствии с рекомендациями пункта 32 настоящего Руководства по безопасности):

обобщенный перечень ИС, рекомендуемый МАГАТЭ для рассматриваемого блока АС (типа реактора);

перечень ИС, сформированный в ВАБ уровня 1 для внутренних ИС прототипа рассматриваемого блока АС;

перечень ИС, требуемых нормативными документами к учету при анализе проектных и запроектных аварий;

перечень ИС из ООБ, учитываемых при анализе проектных и запроектных аварий;

события, выявленные в результате анализа видов и последствий отказов

для систем (элементов) блока АС на основе данных из инструкций по ликвидации проектных аварий, предаварийных ситуаций и нарушений нормальной эксплуатации, регламента безопасной эксплуатации, таблиц защит и блокировок реакторного и турбинного цехов, руководств по управлению запроектными авариями;

события из опыта эксплуатации блока АС и прототипов блока АС;

события, выявленные методом логических диаграмм.

Для начала формирования предварительного перечня событий в качестве базового перечня событий принят перечень из N событий, рекомендуемый МАГАТЭ. В таблице № 1 настоящего приложения приведен перечень событий, рекомендованный МАГАТЭ.

Таблица № 1

Перечень событий, рекомендованный МАГАТЭ (базовый перечень)

№ события	Название события
1	Событие МАГАТЭ 1
2	Событие МАГАТЭ 2
3	Событие МАГАТЭ 3
…	…
N	Событие МАГАТЭ N

В таблице № 2 настоящего приложения приведен список из M событий, которые были рассмотрены в ВАБ уровня 1 для внутренних ИС прототипа блока АС.

Таблица № 2

Перечень событий из ВАБ уровня 1 для внутренних ИС прототипа блока АС

№ события	Название события
1	Событие 1 из ВАБ прототипа блока АС
2	Событие 2 из ВАБ прототипа блока АС
3	Событие 3 из ВАБ прототипа блока АС
…	…
M	Событие M из ВАБ прототипа блока АС

В таблице № 3 настоящего приложения приведен список из K событий, требуемых нормативными документами к учету при анализе проектных и запроектных аварий.

Таблица № 3

Перечень событий, требуемых нормативными документами к учету при анализе проектных и запроектных аварий

№ события	Название события
1	Событие 1 из нормативных документов
2	Событие 2 из нормативных документов
3	Событие 3 из нормативных документов
…	…
K	Событие K из нормативных документов

В таблице № 4 настоящего приложения приведен список из P событий, рассмотренных в ООБ при анализе проектных и запроектных аварий.

Таблица № 4

Перечень событий, рассмотренных в ООБ при анализе проектных и запроектных аварий

№ события	Название события
1	Событие 1 из ООБ
2	Событие 2 из ООБ
3	Событие 3 из ООБ
…	…
P	Событие P из ООБ

В таблице № 5 настоящего приложения приведен перечень из S событий, выявленных на основе анализа видов и последствий отказов систем. Указанный перечень сформирован на основе данных из регламента безопасной эксплуатации блока АС, инструкции по действиям оперативного персонала при нарушениях условий нормальной эксплуатации блока АС, таблиц защит и блокировок реакторного и турбинного отделений блока АС, инструкций по эксплуатации систем блока АС. До проведения анализа видов и последствий отказов рассматривались все системы блока АС (в отчетных материалах по ВАБ представлен перечень всех рассмотренных систем), указанные в ТОБ или ООБ, на предмет наличия требований эксплуатационной документации (в том числе требования регламента безопасной эксплуатации блока АС) по останову, снижению мощности РУ или требования на функционирование систем безопасности при отказе систем, неготовности систем, каналов систем и/или при возникновении других событий (разрывы трубопроводов, непреднамеренное срабатывание и другие события). Для систем, в отношении которых существуют

требования эксплуатационной документации по останову, снижению мощности РУ или по функционированию систем безопасности при отказе систем, неготовности систем, каналов систем и/или при возникновении других событий (такие системы указаны в отчетных материалах по ВАБ уровня 1 для внутренних ИС), для которых выполнен анализ видов и последствий отказов систем (элементов).

В таблице № 6 настоящего приложения представлен перечень нарушений, произошедших за период эксплуатации N российских блоков АС с реакторами рассматриваемого типа, связанных с остановкой блока АС. В поле «АЗ» таблицы № 6 настоящего приложения указывается факт срабатывания аварийной защиты реактора («да») или несрабатывания («нет»). Если реактор останавливался персоналом планово или аварийно, то это означало, что аварийная защита реактора срабатывала, и в поле «АЗ» таблицы № 6 настоящего приложения указывалось «да».

Таблица № 5

Анализ видов и последствий отказов систем (элементов) блока АС

№ события	Событие, приводящее к отказу	Последствия отказа				Комментарии
		Остановка реактора		Отказ систем, важных для безопасности		
		Автоматическая	Административная	Полный	Частичный	
Система, для которой проводится анализ видов и последствий отказа						
Система 1						
1	Событие 1 из таблицы № 5	Да	Нет	Нет	Нет	Аварийная защита срабатывает автоматически
2	Событие 2 из таблицы № 5	Нет	Нет	Нет	Да	Снижение мощности реактора
3	Событие 3 из таблицы № 5	Нет	Да	Нет	Нет	Персонал инициирует аварийную защиту
Система 2						
4	Событие 4 из таблицы № 5	Нет	Нет	Нет	Да	Аварийная защита срабатывает автоматически
…	…	…	…	…	…	…
S	Событие S из таблицы № 5	Да	Нет	Нет	Нет	Аварийная защита срабатывает автоматически

Таблица № 6

Перечень нарушений при эксплуатации блоков АС с реакторами рассматриваемого типа

№ события	Номер акта	Дата нарушения	Название события	АЗ (Да/Нет)	Краткая характеристика события
АЭС 1					
1	Акт 1	11.05.1989	Событие 1 из таблицы № 6	Да	Неисправность в схеме управления ИПУ КД
2	Акт 2	29.06.1991	Событие 2 из таблицы № 6	Да	Срыв вакуума в конденсаторах
3	Акт N	03.03.2018	Событие N из таблицы № 6	Да	Отключение питательных насосов
АЭС 2					
4	Акт 1	20.07.2005	Событие N + 1 из таблицы № 6	Да	Разрыв импульсной трубки
5	Акт 2	17.07.2010	Событие N + 2 из таблицы № 6	Да	Обесточивание
6	Акт M	17.07.2018	Событие M из таблицы № 6	Да	Течь контура циркуляции теплоносителя
АЭС 3					
7	Акт 1	12.07.1987	Событие M + 1 из таблицы № 6	Нет	Отключение одного ГЦН
8	Акт 2	05.07.2011	Событие M + 2 из таблицы № 6	Нет	Снижение уровня в парогенераторе
9	Акт K	14.05.2018	Событие K из таблицы № 6	Да	Отключение блока от сети
АЭС N					
10	Акт 1	17.05.2006	Событие K + 1 из таблицы № 6	Нет	Отключение блока от сети без АЗ с разгрузкой
11	Акт 2	18.04.2001	Событие K + 2 из таблицы № 6	Нет	Отключение блока от сети без срабатывания АЗ с разгрузкой реактора
12	Акт L	01.04.2018	Событие L из таблицы № 6	Да	Течь трубки парогенератора

Для формирования наиболее полного перечня событий, потенциально способных приводить к выходу РВ за границы, предусмотренные проектом, проведен последовательный дедуктивный анализ выявления нежелательных последствий от блока АС по методике построения логических диаграмм, фрагмент построения которых приведен на рис. 1 – 2 настоящего приложения.

Выход РВ за предусмотренные проектом границы в количестве, превышающем установленные проектом величины, является необходимым условием возникновения аварии и может быть вызван либо событиями, затрагивающими активную зону реактора, либо событиями, не связанными с активной зоной реактора, и связанными с иными местами, где находятся (могут находиться) РВ. Логические диаграммы сформированы в ходе последовательного анализа причин выхода РВ. Блоки, отмеченные темным фоном, содержат названия ИС, выявленных в результате анализа.

В таблице № 7 настоящего приложения представлен перечень событий, выявленных с помощью метода логических диаграмм.

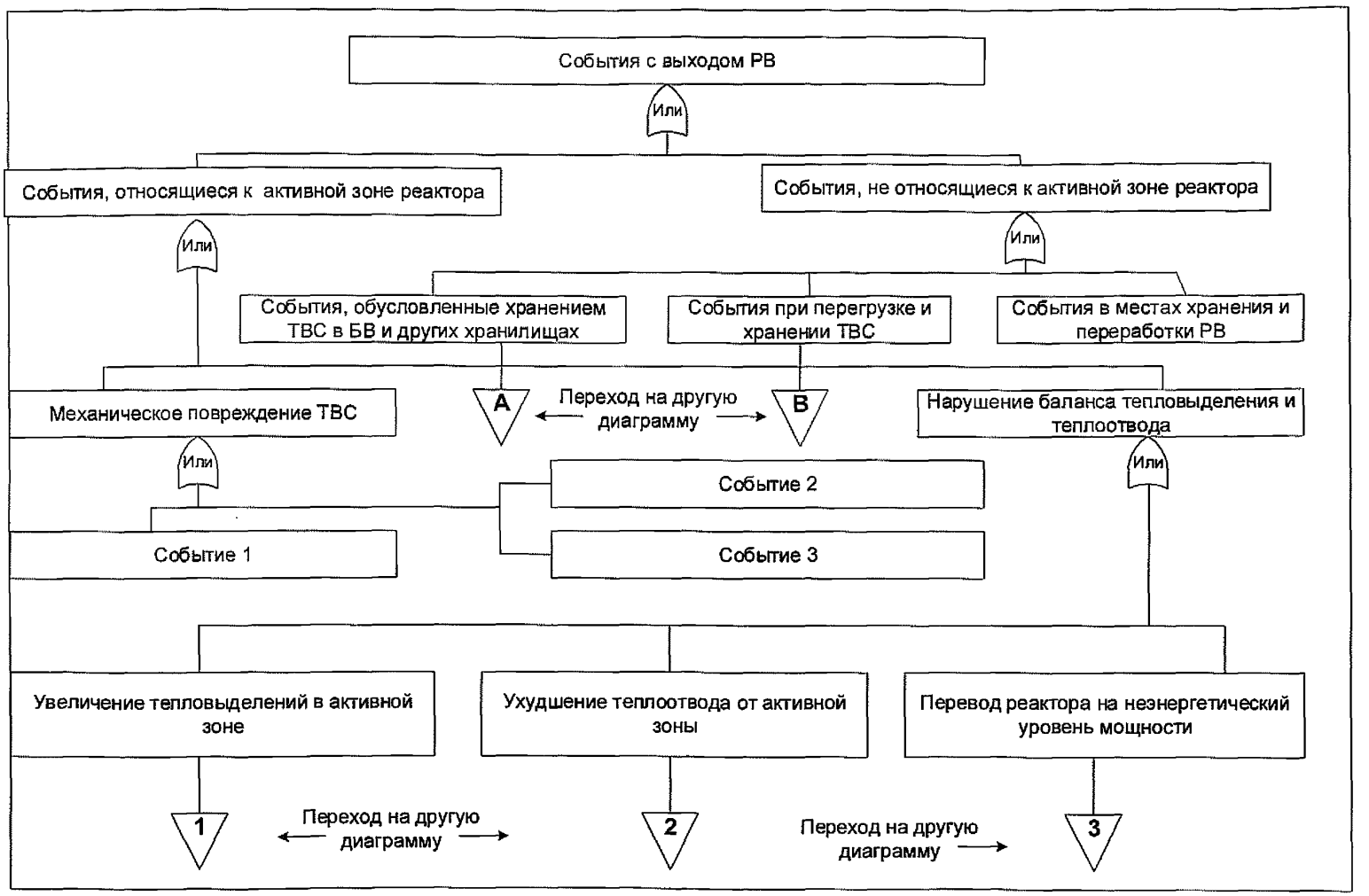

Рис. 1. Логическая диаграмма причин выхода РВ за установленные проектом границы

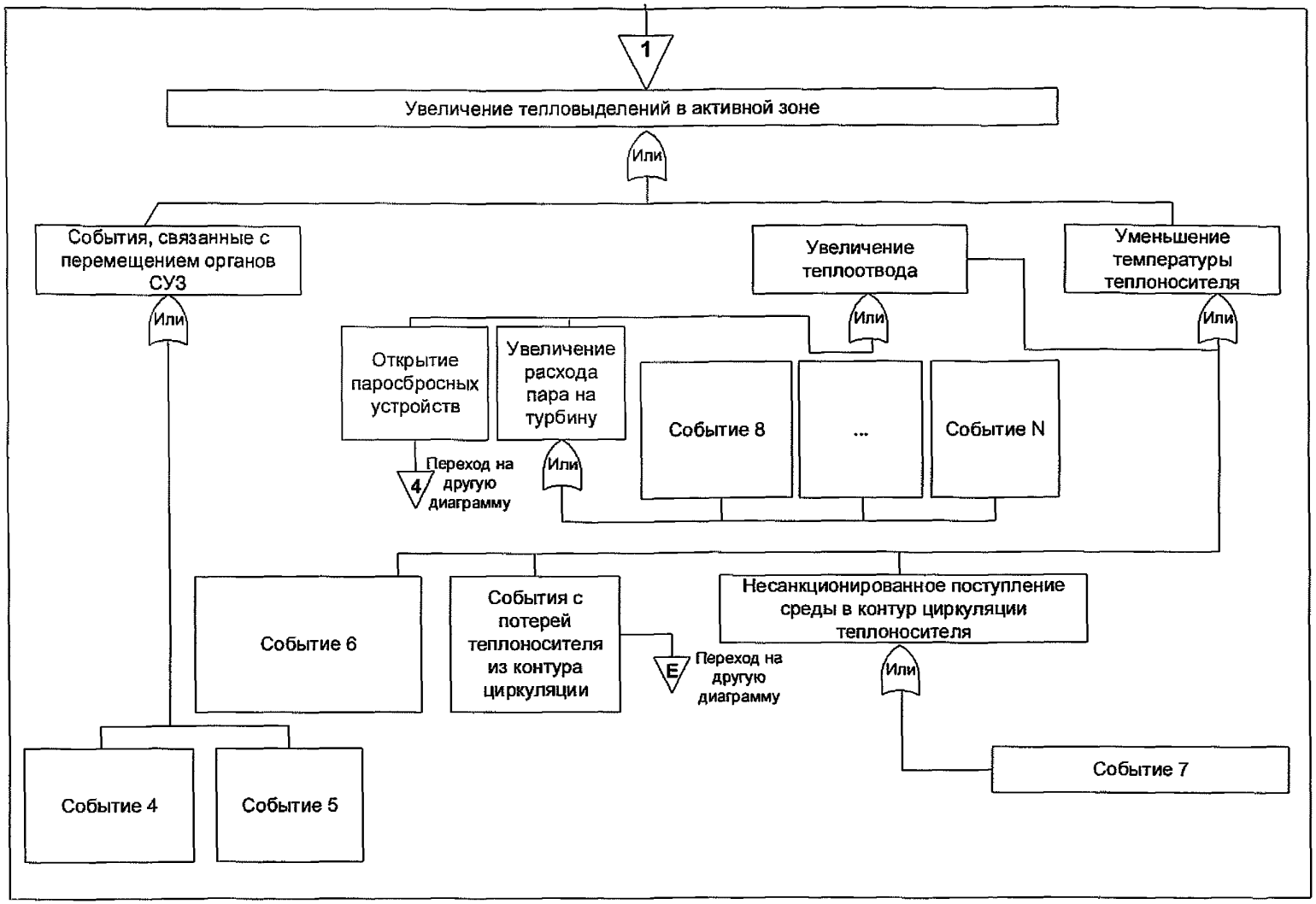

Рис. 2. Логическая диаграмма причин выхода РВ за установленные проектом границы (продолжение)

Таблица № 7

Перечень событий, выявленных методом построения логических диаграмм

№	Название события
1	Событие 1
2	Событие 2
3	Событие 3
4	Событие 4
5	Событие 5
6	Событие 6
7	Событие 7
8	Событие 8
…	…
N	Событие N

В таблице № 8 настоящего приложения представлен предварительный перечень событий, включающий в себя все события, выявленные в результате анализа (событий из таблиц № 1 – 7 настоящего приложения, если смысловое содержание нескольких событий являлось одинаковым при различных названиях событий, то указанные события рассматривались как одно событие, и в соответствующем поле таблицы № 8 настоящего приложения указывались номера всех событий из таблиц № 1 – 7 настоящего приложения), имеющих одно и то же содержание, но различные названия. Все другие события рассматривались как отдельные события, и в соответствующих полях таблицы № 8 настоящего приложения указывались номера событий из таблиц № 1 – 7 настоящего приложения. Знак «-» в полях таблицы № 8 настоящего приложения означает, что событие не было выявлено в результате анализа рассматриваемого источника информации. Название события, которое использовалось в предварительном перечне событий, принималось из источника информации, номер которого в соответствующих полях таблицы № 8 настоящего приложения отмечался жирным шрифтом. При составлении предварительного перечня события располагались по группам, характеризующимся общностью развития аварийных режимов (переходные процессы, течи различных трубопроводов и другие классы событий).

Таблица № 8

Предварительный перечень исходных событий

№ события	Название события	Рекомендации МАГАТЭ (базовый перечень) (таблица № 1 настоящего приложения)	События из ВАБ прототипа блока АС – таблица № 2 настоящего приложения	Требования НД – таблица № 3 настоящего приложения	События из ООБ – таблица № 4 настоящего приложения	Анализ видов и последствий отказов – таблица № 5 настоящего приложения	Анализ опыта эксплуатации АС – таблица № 6 настоящего приложения	События, выявленные методом логических диаграмм – таблица № 7 настоящего приложения
1	Событие МАГАТЭ 1	1	1	1	-	-	7	1
2	Событие МАГАТЭ 2	2	2	2	1	-	2	-
3	Событие МАГАТЭ 3	3	-	-	2	-	3	2
4	Событие МАГАТЭ N	N	3	-	-	1	-	3
5	Событие М из ВАБ прототипа блока АС	-	M	-	-	2, 4	5	4
6	Событие З из нормативных документов	-	-	3	3	3	8	-
7	Событие К из нормативных документов	-	-	K	-	-	9	5
8	Событие Р из ООБ	-	-	-	P	-	-	-
9	Событие S из таблицы № 5	-	-	-	-	S	-	6
10	Событие I из таблицы № 6	-	-	-	-	-	1, 4, 6	-

№ события	Название события	Рекомендации МАГАТЭ (базовый перечень) (таблица № 1 настоящего приложения)	События из ВАБ прототипа блока АС – таблица № 2 настоящего приложения	Требования НД – таблица № 3 настоящего приложения	События из ООБ – таблица № 4 настоящего приложения	Анализ видов и последствий отказов – таблица № 5 настоящего приложения	Анализ опыта эксплуатации АС – таблица № 6 настоящего приложения	События, выявленные методом логических диаграмм – таблица № 7 настоящего приложения
11	Событие L из таблицы № 6	-	-	-	-	-	12	7
12	Событие K + 2 из таблицы № 6	-	-	-	-	-	10, 11	-
13	Событие N	-	-	-	-	-	-	N
14	Событие 8	-	-	-	-	-	-	8

2. Формирование окончательного перечня исходных событий

Формирование перечня ИС производилось путем установления соответствия событий из предварительного перечня событий (таблица № 8 настоящего приложения) принятым критериям отбора.

Для отбора исходных событий были приняты следующие критерии отбора:

критерий № 1;

критерий № 2;

критерий № 3.

Событие является отобранным, если оно одновременно удовлетворяет вышеприведенным критериям отбора. В строках таблицы № 9 настоящего приложения события, исключенные из дальнейшего анализа на основе принятых критериев отбора, отмечены серым цветом.

Анализ отбора ИС представлен в таблице № 9 настоящего приложения. Число и названия событий, проанализированных в таблице № 9 настоящего приложения, соответствует числу и названиям событий из таблицы № 8 настоящего приложения.

Таблица № 9

Отбор исходных событий

№ события	Название события	Событие удовлетворяет критерию № 1 Да/Нет	Событие удовлетворяет критерию № 2 Да/Нет	Событие удовлетворяет критерию № 3 Да/Нет	Событие прошло отбор Да/Нет	Обоснование исключения события из дальнейшего анализа (для событий, не прошедших отбор)
1	Событие МАГАТЭ 1	Да	Да	Нет	Да	-
2	Событие МАГАТЭ 2	Да	Да	Нет	Да	-
3	Событие МАГАТЭ 3	Да	Нет	Нет	Нет	
4	Событие МАГАТЭ N	Да	Да	Нет	Да	
5	Событие M из ВАБ прототипа блока АС	Да	Нет	Нет	Нет	
6	Событие 3 из нормативных документов	Да	Да	Нет	Да	
7	Событие K из нормативных документов	Да	Да	Нет	Да	
8	Событие P из ООБ	Да	Да	Нет	Да	
9	Событие S из таблицы № 5	Да	Да	Нет	Да	
10	Событие 1 из таблицы № 6	Да	Да	Нет	Да	
11	Событие L из таблицы № 6	Да	Да	Нет	Да	
12	Событие K + 2 из таблицы № 6	Да	Нет	Нет	Нет	
13	Событие N	Да	Да	Нет	Да	-
14	Событие 8					-

gost.e-ecolog.ru