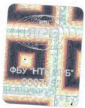
РУКОВОДСТВА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

при использовании атомной энергии



РЕКОМЕНДАЦИИ К РАЗРАБОТКЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ХРАНИЛИЩ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

РБ-116-17

gost.e-ecolog.ru

ФБУ «НТЦ ЯРБ»

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

УТВЕРЖДЕНО
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 10 февраля 2017 г. № 51

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

«РЕКОМЕНДАЦИИ К РАЗРАБОТКЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ХРАНИЛИЩ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА» (РБ-116-17)

Введено в действие
с 10 февраля 2017 г.

Москва 2017

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности для хранилищ отработавшего ядерного топлива» (РБ-116-17)

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, Москва, 2017

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности для хранилищ отработавшего ядерного топлива» (РБ-116-17) (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 3.12, 6.1.5, 6.1.8 федеральных норм и правил в области использовании атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла» (НП-016-05), утвержденных постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2005 г. № 11, и пунктов 1.2.9, 1.2.17 федеральных норм и правил в области использовании 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.

Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по составу и содержанию документов в части разработки вероятностного анализа безопасности для проектируемых, сооружаемых и эксплуатируемых хранилищ отработавшего ядерного топлива

Руководство по безопасности предназначено для использования проектными и эксплуатирующими организациями при проектировании, сооружении, эксплуатации, разработке мероприятий по обеспечению безопасности хранилищ отработавшего ядерного топлива, а также Ростехнадзором для осуществления надзора за безопасностью хранилищ отработавшего ядерного топлива.

Выпускается впервые[1]

[1] Разработано коллективом авторов в составе Г.И. Самохин, Д.Е. Носков, Т.В. Берг, В.А. Бредова, (ФБУ «НТЦ ЯРБ»).

I. Общие положения

1. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности для хранилищ отработавшего ядерного топлива» (РБ-116-17) (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 3.12, 6.1.5, 6.1.8 федеральных норм и правил в области использовании атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла» (НП-016-05), утвержденных постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2005 г. № 11, и пунктов 1.2.9, 1.2.17 федеральных норм и правил в области использовании 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.

2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее – Ростехнадзор) в части разработки вероятностного анализа безопасности для проектируемых, сооружаемых и эксплуатируемых хранилищ отработавшего ядерного топлива.

3. Рекомендации настоящего Руководства по безопасности распространяются на стационарные объекты и сооружения, предназначенные для хранения отработавшего ядерного топлива, включая объекты и сооружения, расположенные на территории атомной станции и не входящие в состав блоков атомной станции.

4. Настоящее Руководство по безопасности предназначено для использования проектными и эксплуатирующими организациями при проектировании, сооружении, эксплуатации и разработке мероприятий по обеспечению безопасности хранилище отработавшего ядерного топлива, а также организациями научно-технической поддержки Ростехнадзора.

5. Рекомендации настоящего Руководства по безопасности относятся к целям, объему и последовательности выполнения

отдельных задач вероятностного анализа безопасности для хранилищ отработавшего ядерного топлива, а также к составу и содержанию отчетной документации по вероятностному анализу безопасности для хранилищ отработавшего ядерного топлива.

6. Требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии могут быть выполнены с использованием иных способов (методов), чем те, которые содержатся в настоящем Руководстве по безопасности, при обосновании применимости использованных способов (методов) для решения поставленных задач.

7. Перечень сокращений, используемых в настоящем Руководстве по безопасности, приведен в приложении № 1, термины и определения – в приложении № 2.

II. Общие сведения

8. ВАБ ХОЯТ рекомендуется разрабатывать с целью расчета ВПБ для ХОЯТ, расположенных на территории АС, и ХОЯТ, являющихся объектом ЯТЦ.

9. ВАБ ХОЯТ рекомендуется выполнять с целью использования его результатов для:

проверки соответствия ВПБ ХОЯТ целевым ориентирам безопасности ХОЯТ, установленным федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии;

выявления наиболее значимых для безопасности ХОЯТ отказов систем (элементов), действий персонала;

обоснования приоритетов при разработке и реализации мероприятий, направленных на обеспечение безопасности ХОЯТ;

оценки влияния мероприятий по модернизации систем (элементов) ХОЯТ на безопасность ХОЯТ;

оценки влияния на безопасность нарушений в работе ХОЯТ;

оптимизации проектных решений ХОЯТ;

обоснования перечня ИС проектных аварий, перечня запроектных аварий, руководств по управлению запроектными авариями;

разработки технических решений по управлению авариями с целью ослабления их последствий;

анализа отступлений от требований федеральных норм и правил и иных действующих нормативных правовых актов в

области использования атомной энергии с точки зрения влияния этих отступлений на безопасность ХОЯТ;

обоснования изменения пределов и условий безопасной эксплуатации ХОЯТ;

обоснования внесения изменений в проектную, конструкторскую, технологическую и эксплуатационную документацию.

10. ВАБ ХОЯТ рекомендуется разрабатывать для внутренних ИС и ИС, обусловленных внутренними воздействиями и внешними воздействиями природного и техногенного происхождения.

11. ВАБ ХОЯТ рекомендуется разрабатывать с учетом всех возможных источников радиоактивности (мест размещения ядерных материалов, РВ и РАО) на территории ХОЯТ.

12. ВАБ ХОЯТ рекомендуется разрабатывать с учетом всех режимов эксплуатации ХОЯТ (хранение, обращение с ОЯТ, техническое обслуживание и ремонт).

13. При разработке ВАБ ХОЯТ рекомендуется выполнять следующие задачи:

отбор и группирование ИС;

моделирование АП;

анализ надежности систем;

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

анализ надежности персонала;

анализ зависимостей, выявленных при выполнении различных задач ВАБ ХОЯТ;

анализ внутренних пожаров;

анализ внутренних затоплений;

анализ внешних воздействий;

анализ аварий и определение их последствий;

анализ значимости, чувствительности и неопределенности;

разработка вероятностной модели ХОЯТ, расчет ВПБ ХОЯТ, анализ и представление результатов ВАБ ХОЯТ.

14. ВАБ ХОЯТ рекомендуется выполнять на основании:

проектно-конструкторской и эксплуатационной документации;

актов испытаний и исполнительной документации на техническое обслуживание и ремонт систем (элементов) безопасности и элементов, важных для безопасности;

информации об отказах элементов систем, важных для безопасности, и ошибок персонала;

сведений о расследовании нарушений в работе ХОЯТ;

сведений о нарушении пределов и условий безопасной эксплуатации;

результатов анализов безопасности, включающих анализы аварийных ситуаций, анализы запроектных аварий и другие анализы, проведенные в рамках обоснования безопасности ХОЯТ и (или) в рамках других исследований;

нормативных документов для ХОЯТ.

15. При выполнении ВАБ ХОЯТ рекомендуется использовать данные, соответствующие состоянию исследуемого ХОЯТ на момент начала разработки ВАБ.

16. Использованные при выполнении ВАБ ХОЯТ ограничения и допущения, а также их обоснование рекомендуется приводить в документации по ВАБ ХОЯТ.

III. Отбор и группирование исходных событий

17. В рамках данной задачи выполняется формирование перечня ИС, включая внутренние ИС, ИС, вызванные внутренними и внешними воздействиями, и их группирование.

18. Формирование перечня ИС рекомендуется выполнять в два этапа. На первом этапе рекомендуется формировать предварительный перечень ИС, на втором – окончательный перечень ИС.

19. Предварительный перечень ИС рекомендуется формировать на основании:

анализа нарушений на исследуемом ХОЯТ;

анализа обобщенных перечней ИС для подобных ХОЯТ;

анализа перечней ИС, использованных при обосновании безопасности анализируемого ХОЯТ и подобных ХОЯТ;

опыта эксплуатации анализируемого ХОЯТ и подобных ХОЯТ;

требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии для ХОЯТ;

документов МАГАТЭ (и других международных организаций), содержащих перечни ИС, рекомендуемые для рассмотрения при обосновании безопасности ХОЯТ.

20. Формирование предварительного перечня ИС рекомендуется выполнять с учетом возможности возникновения ИС при различных режимах эксплуатации ХОЯТ.

21. Рекомендуется при формировании предварительного перечня ИС учитывать ИС, которые могут быть следствием ошибок персонала при проведении регламентных операций, проверок работоспособности систем (элементов) и испытаний.

22. Рекомендуется разрабатывать критерии отбора ИС для формирования окончательного перечня ИС. Окончательный перечень ИС рекомендуется формировать из предварительного перечня ИС в соответствии с принятыми критериями отбора. Критерии отбора ИС могут быть основаны либо на вероятности (частоте) потенциально возможных ИС (например, допускается исключение ИС или групп ИС из дальнейшего рассмотрения, если их вклад в оценку ВПБ, оцененный упрощенно, пренебрежимо мал; при расчете ВПБ учитываются исключенные ИС и группы ИС), либо на потенциально возможных последствиях ИС, реализующихся в том числе из-за дополнительных отказов систем безопасности и (или) ошибок персонала.

23. Рекомендуется выявлять ИС, вызывающие зависимые повреждения или отказы систем (элементов), требуемых для предотвращения повреждения ядерного топлива или аварийного выброса.

24. Рекомендуется выявлять ИС, вызванные отказами систем (элементов) ХОЯТ из-за пожара (затопления) или внешнего воздействия природного и техногенного происхождения.

25. Рекомендуется выявлять все ИС, которые могут быть вызваны пожаром (например, из-за повреждения кабелей различных систем (элементов), расположенных в пожарной зоне).

26. Рекомендуется выявлять все ИС, которые могут возникать вследствие распространения пожара (затопления) за пределы пожарной зоны (зоны затопления).

27. Рекомендуется выявлять все ИС, которые могут быть вызваны затоплением (например, из-за повреждения систем

(элементов) ХОЯТ, включая разрывы (течи) трубопроводов и сосудов, расположенных в различных помещениях, ошибочные действия персонала).

28. При выявлении ИС, вызванных затоплениями, рекомендуется учитывать эффекты запаривания и забрызгивания систем (элементов) ХОЯТ.

29. Группирование ИС из окончательного перечня ИС рекомендуется осуществлять путем обоснования схожести:

путей протекания аварии и достигаемых конечных состояний АП;

требований к работе систем (элементов) ХОЯТ и действиям персонала.

30. Рекомендуется, чтобы критерии успеха систем для группы ИС были не менее строгими (консервативными), чем критерии успеха систем для каждого из ИС, включенного в рассматриваемую группу ИС.

31. Рекомендуется соблюдать баланс между минимизацией числа рассматриваемых групп ИС, с одной стороны, и предотвращением излишнего консерватизма, вносимого процедурой группирования, с другой стороны.

32. Критерии успеха систем (элементов) рекомендуется обосновывать. Для обоснования критериев успеха систем (элементов) рекомендуется использовать отчеты по обоснованию безопасности ХОЯТ и при необходимости выполнять в рамках ВАБ ХОЯТ детерминистические расчеты или использовать имеющиеся детерминистические расчеты, относящиеся к анализируемому ХОЯТ или другому подобному ХОЯТ. Рекомендуется в составе отчетных материалов по ВАБ ХОЯТ приводить ссылки на материалы, содержащие детальные результаты этих расчетов.

33. В соответствующем разделе отчетной документации по ВАБ ХОЯТ рекомендуется представлять использованные исходные данные, описание выполненного анализа и результаты отбора и группирования ИС, включая:

данные о нарушениях, приводящих к ИС на исследуемом ХОЯТ;

использованные обобщенные перечни ИС для исследуемого и подобных ХОЯТ и ссылки на источники информации;

предварительный и окончательный перечни ИС;

примененные критерии отбора;

перечень отсеянных в результате отбора событий с обоснованиями;

критерии группирования ИС;

перечень групп ИС.

IV. Моделирование аварийных последовательностей

34. Назначением данной задачи является разработка вероятностных моделей АП, отображающих процессы развития запроектной аварии в ХОЯТ (от ИС и до момента повреждения ядерного топлива и выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду). При этом определяются пути протекания аварий, требования к срабатыванию различных систем (элементов) и к выполнению действий персонала (критерии успеха), физические явления при запроектных авариях, конечные состояния аварийной последовательности событий.

35. Модели АП рекомендуется разрабатывать для каждой сформированной группы ИС.

36. При разработке АП ИС рекомендуется использовать:

обоснование безопасности ХОЯТ, включая результаты детерминистических анализов;

результаты ВАБ для других ХОЯТ;

особенности проекта ХОЯТ.

37. При разработке АП рекомендуется учитывать физические явления запроектных аварий (плавление тепловыделяющих элементов, выход радиоактивных веществ из тепловыделяющих элементов, окисление оболочек тепловыделяющих элементов, образование водорода при окислении тепловыделяющих элементов, горение водорода в помещениях ХОЯТ и другие физические явления).

38. Рекомендуется определять и приводить описание видов конечных состояний АП.

39. Виды конечных состояний АП рекомендуется определять на основании сформированных признаков.

40. Признаки конечных состояний АП рекомендуется

выбирать таким образом, чтобы каждый из них характеризовал, по крайней мере, один из следующих факторов:

особенности физических процессов, сопровождающих развитие запроектных аварий;

пути выхода радиоактивного вещества в окружающую среду (например, выход радиоактивного вещества из герметичного помещения в случае его повреждения, выход через негерметичные помещения);

состояние систем ХОЯТ, оказывающих влияние на процессы в помещениях ХОЯТ и выход радиоактивного вещества в окружающую среду (системы вентиляции, система энергоснабжения и другие системы);

количество и состав РВ, выходящих из ОЯТ;

количество и состав РВ, выходящих в окружающую среду.

41. Интервал времени развития АП рекомендуется принимать равным не менее чем 24 часа с момента возникновения ИС. Интервал времени рекомендуется расширять в случае если за его пределами возможно достижение неуспешного конечного состояния АП по следующим причинам:

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

устойчивое развитие неблагоприятных физических процессов, приводящих к неуспешным конечным состояниям АП.

42. При обосновании выбранного периода времени моделирования АП рекомендуется исходить из того, что постепенное увеличение указанного периода не приводит к скачкообразному увеличению вероятности тяжелой аварии или вероятности аварийного выброса радиоактивных веществ. При этом интервал моделирования АП превышает время восстановления отказавшего оборудования систем (элементов) в условиях функционирования других систем (элементов), обеспечивающих безопасность ХОЯТ. Эта задача может быть решена за счет включения в модели аварийных последовательностей событий, учитывающих восстановительные действия персонала и использование нештатных мер по управлению аварией после истечения 24 часов (с последующей оценкой вероятности их невыполнения).

43. При построении моделей АП рекомендуется располагать моделируемые функции в «деревьях событий» с учетом причинно-следственных связей и хронологического порядка.

44. При построении моделей АП рекомендуется учитывать влияние одних событий на другие (например, отказы систем (элементов) могут возникать из-за воздействия на них истекающих струй, летящих предметов, ударных волн, вторичных пожаров, температурных деформаций в конструкционных материалах и других событий). При этом рекомендуется учитывать зависимость режима работы систем (элементов) от характера аварийного процесса, возможности работы одних систем (элементов) при отказе других.

45. Рекомендуется разрабатывать аварийные сценарии внутренних и внешних воздействий. Сценарии внутренних и внешних воздействий должны включать внутреннее или внешнее воздействие и АП, которые могут развиваться после наступления этих воздействий.

46. На основании сведений о помещениях ХОЯТ (их пожарной нагрузке, источниках затопления, расположении оборудования в помещениях ХОЯТ, прочностных характеристиках систем (элементов) ХОЯТ) рекомендуется отбирать:

возможные ИС (группы ИС) из перечня внутренних ИС (групп ИС), вызванных пожарами (в каждой отобранной для дальнейшего анализа пожарной зоне);

возможные ИС (группы ИС) из перечня внутренних ИС (групп ИС), вызванных затоплениями (в каждой отобранной для дальнейшего анализа зоне затопления);

возможные ИС (группы ИС), вызванные внешними воздействиями для дальнейшего анализа.

Для отобранных ИС (групп ИС) рекомендуется формировать аварийные сценарии для внутренних и внешних воздействий.

Если последствия от внутреннего или внешнего воздействия не могут быть соотнесены с одним из внутренних ИС (групп ИС), то рекомендуется разрабатывать модели АП для таких воздействий в соответствии с рекомендациями пунктов 35–44, 63, 64 настоящего Руководства по безопасности.

47. Рекомендуется проводить отборочный и детальный анализ аварийных сценариев внутренних и внешних воздействий.

48. В рамках отборочного анализа рекомендуется выявлять сценарии, которые могут быть оценены как малозначимые по вкладу в суммарную вероятность тяжелых аварий или аварийных выбросов. Для оценки значимости сценариев рекомендуется использовать упрощенные консервативные методы оценки.

49. В рамках отборочного анализа аварийных сценариев внутренних воздействий (пожаров и затоплений) рекомендуется выявлять:

сценарии, исключенные из дальнейшего анализа на основании упрощенных методов оценки;

сценарии, включенные в оценку суммарной вероятности тяжелых аварий или аварийных выбросов без проведения детального анализа;

сценарии, отобранные для детального анализа.

50. Рекомендуется разрабатывать критерии отбора аварийных сценариев, вызванных внешними и внутренними воздействиями для детального анализа аварийных сценариев.

51. Детальный анализ аварийных сценариев, вызванных внешними и внутренними воздействиями, рекомендуется проводить для всех сценариев, отобранных для детального анализа с целью переоценки ВПБ путем снижения уровня консерватизма, заложенного при выполнении отборочного анализа, и получения реалистичных оценок ВПБ.

52. Аварийные сценарии пожаров (затоплений) разрабатываются для каждой пожарной зоны (зоны затопления).

53. Для снижения уровня консерватизма сценариев затоплений на этапе детального анализа рекомендуется уточнить следующие факторы:

расположение и характеристики систем (элементов) ХОЯТ в зонах распространения затопления;

потенциальные источники затопления и критичные пути распространения (пути распространение затопления, которые приводят к отказу систем (элементов) ХОЯТ и, как следствие, – к повреждению ядерного топлива), выявленные по результатам анализа распространения затоплений;

результаты детерминистического анализа возможности распространения воды (пара) по выбранному пути;

возможности повреждения систем (элементов) ХОЯТ, выполняющих функции безопасности;

время до повреждения систем (элементов) ХОЯТ;

уточненные значения вероятностей для учитываемых ошибок персонала.

54. Для снижения уровня консерватизма сценариев пожаров на этапе детального анализа рекомендуется уточнить следующие факторы:

расположение и характеристики систем (элементов) ХОЯТ в зонах распространения пожара;

потенциальные источники возгорания и критичные пути распространения пожара;

результаты детерминистического анализа распространения огня (горячих газов) по выбранному пути;

вероятности для учитываемых ошибок персонала;

возможности повреждения систем (элементов) ХОЯТ, выполняющих функции безопасности;

время до повреждения систем (элементов) ХОЯТ.

55. По результатам детального анализа аварийных сценариев внутренних воздействий (пожаров, затоплений) рекомендуется формулировать вывод о возможности распространения пожара (затопления) по исследуемому пути и отказов систем (элементов) ХОЯТ, приводящих к повреждению ядерного топлива, а также оценивать время до повреждения систем (элементов) и до повреждения ядерного топлива.

56. Если по результатам детального анализа пожаров (затоплений) выявлено, что системы (элементы) ХОЯТ теряют свою работоспособность, оценивается время до отказа систем (элементов) ХОЯТ, которое используется для учета действий по предотвращению пожаров (затоплений).

57. Для наиболее значимых сценариев пожаров (затоплений) с повреждением ядерного топлива рекомендуется выполнять детальный анализ сценариев – от начала пожара (затопления) до момента критического повреждения систем (элементов).

58. Оценку ВПБ при детальном анализе пожарных сценариев или сценариев затоплений рекомендуется проводить с учетом:

уточненного количества систем (элементов) в зоне распространения, потенциально подверженных отказу в конкретных пожарных сценариях или сценариях затоплений;

уточненного количества цепей управления в зоне распространения, потенциально подверженных отказу в конкретном пожарном сценарии или сценарии затопления;

возможности ликвидации пожара (затопления) до момента критического повреждения систем (элементов).

59. В рамках отборочного анализа аварийных сценариев внешних воздействий рекомендуется определять:

сценарии, исключенные из дальнейшего анализа в соответствии с принятыми критериями исключения сценариев;

сценарии, включаемые в оценку суммарной вероятности тяжелых аварий или аварийных выбросов без проведения детального анализа;

сценарии, отобранные для детального анализа.

60. Для снижения уровня консерватизма на этапе детального анализа рекомендуется уточнить следующие факторы сценариев внешних воздействий:

номенклатуру систем (элементов) ХОЯТ, отказ которых обусловлен внешним воздействием;

нагрузки на системы (элементы) ХОЯТ, обусловленные внешними воздействиями;

возможность действий оперативного персонала по управлению альтернативными системами (элементами) ХОЯТ, включая действия персонала по восстановлению систем (элементов) ХОЯТ.

61. Для уточнения сценариев внешних воздействий на этапе детального анализа рекомендуется выполнять дополнительные детерминистические исследования.

62. Результатом детального анализа внешних и внутренних воздействий является оценка вероятности тяжелых аварий или аварийных выбросов, полученная с учетом результатов отборочного и детального анализов аварийных сценариев.

63. В отчетной документации по ВАБ ХОЯТ рекомендуется представлять краткие результаты расчетных и иных исследований из различных источников информации, использованных в детальном анализе внешних и внутренних воздействий, а также результаты исследований, выполненных в рамках детального анализа.

64. В отчетной документации по ВАБ ХОЯТ рекомендуется приводить графические модели АП для всех групп ИС, результаты оценок вероятностей реализации конечных состояний АП ИС, перечень значимых минимальных сечений для всех неуспешных конечных состояний АП.

V. Анализ надежности систем

65. Анализ надежности систем рекомендуется выполнять с целью использования его результатов при разработке вероятностных моделей систем для всех моделируемых функций (функциональных событий), в которых задействованы анализируемые системы.

66. Рекомендуется проводить анализ надежности всех систем, которые могут влиять либо на пути протекания аварии, либо на вероятность аварийного выброса.

67. В рамках данной задачи рекомендуется выполнить:

анализ видов и последствий отказов элементов системы, включая анализ отказов, которые могут вызвать ИС;

анализ различных типов потенциально возможных зависимостей между элементами, каналами систем, системами (обусловленных наличием общих структурных связей или вспомогательных систем, ИС, изменением условий эксплуатации оборудования систем);

анализ действий персонала по управлению системой;

анализ ошибок персонала, которые могут вызвать отказ системы при выполнении функций безопасности во время аварии;

анализ отказов по общей причине;

количественную оценку надежности системы для систем, выполняющих самостоятельную функцию безопасности.

68. При разработке вероятностных моделей надежности систем рекомендуется учитывать особенности протекания аварийных процессов для различных конфигураций ХОЯТ (например, непол-

ный состав работоспособного оборудования систем ХОЯТ на момент возникновения ИС).

69. Рекомендуется учитывать возможность зависимого отказа систем или их каналов, обусловленного ИС.

70. Критерии успеха, используемые в модели надежности систем, рекомендуется согласовывать с критериями успеха моделируемых функций, выполняемых системой, и требованиями к учету явных зависимостей, определенными при моделировании аварийных последовательностей в соответствии с рекомендациями, приведенными в разделе IV настоящего Руководства по безопасности.

71. Границы элементов систем рекомендуется определять таким образом, чтобы в модели надежности системы был обеспечен учет всех видов отказов, которые могут повлиять на способность систем выполнять свои функции, определенные в рамках ВАБ ХОЯТ. Границы и виды отказов элементов систем, используемые при анализе надежности систем и при определении показателей надежности оборудования ХОЯТ, рекомендуется выбирать в строгом соответствии друг с другом.

72. При построении вероятностных моделей систем рекомендуется рассматривать и анализировать все возможные виды отказов оборудования, которые могут привести к невыполнению функций безопасности.

73. Границы анализируемых систем и уровень детализации моделей систем рекомендуется согласовывать с требованиями к моделируемым функциям, установленными при моделировании аварийных последовательностей.

74. Модели надежности систем ХОЯТ рекомендуется разрабатывать с учетом неготовности (неработоспособности) элементов (каналов) систем из-за ремонта или тестирования на основании информации по проверкам работоспособности, техническому обслуживанию и ремонту оборудования систем (элементов) ХОЯТ. При построении моделей рекомендуется учитывать только разрешенные технологическим регламентом комбинации выводимого в ремонт оборудования систем.

75. Рекомендуется выявлять возможные ошибки персонала, которые могут привести к отказу систем во время аварии,

произошедшей по причине неправильных действий персонала при выполнении регламентных операций технического обслуживания или ремонта, или при вводе в эксплуатацию оборудования систем после указанных регламентных операций. Рекомендуется выявлять зависимости успешного выполнения моделируемых функций системы от ИС и конкретных АП, вызванные наличием общих элементов различных систем или наличием общих обеспечивающих систем.

76. Рекомендуется выявлять зависимости между системами и (или) каналами систем, а также учитывать возможность возникновения отказов по общей причине.

77. Анализ видов и последствий отказов рекомендуется выполнять для всех элементов систем, включая элементы, отказы которых могут вызвать ИС. Результаты анализа рекомендуется документировать и учитывать при выборе исходных событий.

78. В случае использования в моделях надежности систем упрощений, заменяющих несколько базисных событий и логические связи между ними одним событием, рекомендуется выполнять анализ, подтверждающий отсутствие потери явных и неявных зависимостей.

79. В отчетной документации по ВАБ ХОЯТ (в главе по анализу надежности системы) рекомендуется представить следующую информацию:

назначение системы, технологическую или структурную схемы, функционирование при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, контроль параметров при эксплуатации, пределы и условия безопасной эксплуатации, порядок технического обслуживания и ремонта, действия оператора при техническом обслуживании и при управлении системой;

функции безопасности, выполняемые системой, и критерии успеха данных функций при различных ИС;

допущения, использованные при разработке вероятностной модели системы, включая границы системы и ее элементов, исходное состояние системы, упрощенную схему системы (при необходимости), перечень исключенного из рассмотрения оборудования;

способ разработки вероятностной модели;

элементы системы, включая их наименование и идентификаторы, состояние в режимах ожидания и работы, место размещения, рассматриваемые типы отказов, последствия отказов и их влияние на надежность всей системы, продолжительность работы при аварии, периодичность опробований, состояние при контроле;

базисные события, связанные с неготовностью из-за вывода в ремонт каналов (элементов) системы, постулируемые события, базисные события отказов элементов системы, использованные в модели надежности;

базисные события отказов каналов (элементов) системы по общей причине;

базисные события модели надежности системы, соответствующие ошибкам персонала, включая доаварийные и послеаварийные ошибки (при этом послеаварийные ошибки могут включаться в модели аварийных последовательностей);

графические модели надежности систем («деревья отказов» или графы другого вида);

расчеты показателей надежности систем для всех моделируемых функций (функциональных событий).

VI. Определение вероятностей (частот) исходных событий и показателей надежности систем (элементов) хранилищ отработавшего ядерного топлива

80. В рамках данной задачи рекомендуется определять частоты групп ИС, вероятностные показатели надежности систем (элементов) ХОЯТ.

81. Вероятностные показатели надежности систем (элементов) ХОЯТ и частоты ИС рекомендуется оценивать с учетом всех режимов эксплуатации ХОЯТ (хранение ОЯТ, обращение с ОЯТ, техническое обслуживание и ремонт) и их длительности.

82. Длительность режимов эксплуатации ХОЯТ (операций, процесса) рекомендуется определять на основании проектной и эксплуатационной документации ХОЯТ с учетом опыта эксплуатации ХОЯТ.

83. Оценку вероятностей (частот) отказов оборудования или ИС рекомендуется выполнять с использованием статистических

методов на основании известных из опыта эксплуатации специфических данных по нарушениям в работе и отказам систем (элементов) ХОЯТ. В случае отсутствия или недостатка специфических данных рекомендуется использовать обобщенные данные для подобных ХОЯТ. Не рекомендуется использование только обобщенных данных при выполнении ВАБ действующих ХОЯТ.

84. При использовании обобщенных данных рекомендуется приводить ссылки на использованные источники информации. Выбор обобщенных данных рекомендуется обосновывать с точки зрения их применимости для конкретного ХОЯТ, выбранных границ оборудования ХОЯТ и видов отказов, моделируемых в ВАБ ХОЯТ.

85. Сбор и анализ исходных данных по отказам для оборудования ХОЯТ рекомендуется выполнять с использованием материалов проекта, эксплуатационной и конструкторской документации, данных по результатам испытаний и опыта эксплуатации ХОЯТ.

86. Рекомендуется определять и обосновывать критерии классификации отказов по видам (например, отказ на запуск, отказ при работе, отказ на требование, отказ на выполнение функции).

87. Рекомендуется оценивать следующие показатели надежности:

вероятность отказа «на требование» и (или) интенсивность отказов в режиме ожидания;

интенсивность отказов при работе;

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

вероятность отказа по общей причине и (или) параметры модели отказов по общей причине.

88. Оценку вероятности (частоты) ИС рекомендуется выполнять с учетом количества операций, потенциально приводящих к ИС. Если ИС вызвано отказами оборудования или ошибками персонала при выполнении регламентных технологических операций, проверок и испытаний, то вероятность (частота) ИС пропорциональна числу операций.

89. Для обеспечения аддитивности вклада от различных ИС при определении суммарной вероятности тяжелых аварий или аварийных выбросов частоты ИС рекомендуется оценивать для одного календарного года.

90. Для оценки частоты реализации ИС, вызванного ошибками персонала, которые были выявлены на основе анализа проектной документации (не проявились за время эксплуатации ХОЯТ), могут использоваться методы анализа надежности персонала.

91. Вероятность отказов по общей причине оборудования ХОЯТ рекомендуется оценивать с использованием общепринятых подходов (например, модель «бета-фактора», модель «альфа-фактора», модель «греческих букв», «биномиальная» модель). Применение иных подходов рекомендуется обосновывать.

92. В документации по ВАБ ХОЯТ рекомендуется представлять описание процедуры обработки исходной информации, допущения, принятые при анализе данных, а также рассчитанные показатели надежности оборудования и вероятности (частоты) ИС с соответствующими характеристиками неопределенности.

VII. Анализ надежности персонала

93. В рамках задачи по анализу надежности персонала рекомендуется выполнять анализ единичных и (или) множественных действий персонала при проведении технологических операций, управлении аварией, проведении проверок работоспособности или технического обслуживания оборудования ХОЯТ и определять вероятности невыполнения или неправильного выполнения этих действий.

94. Результаты анализа надежности персонала используются при определении частот ИС, вызванных ошибками персонала, а также при выполнении расчетов вероятностей реализации АП и определении ВПБ ХОЯТ.

95. В рамках анализа надежности персонала рекомендуется выполнять следующие задачи:

сбор информации о действиях персонала, выполняемых при эксплуатации ХОЯТ;

выбор метода анализа надежности персонала;

определение действий (ошибок) персонала, моделируемых в ВАБ ХОЯТ;

принятие допущений и ограничений для каждого вида действий (ошибок) персонала и их обоснование;

отборочный анализ надежности персонала;

детальный анализ надежности персонала для наиболее значимых вкладчиков;

анализ зависимостей между несколькими действиями персонала;

документирование результатов анализа надежности персонала.

96. Информация, рекомендуемая для выполнения анализа надежности персонала, может быть получена из следующих источников:

опыт эксплуатации ХОЯТ;

эксплуатационные инструкции (инструкции по эксплуатации, регламенты, инструкции по техническому обслуживанию, ремонту и другие инструкции);

детерминистические, инженерные и иные расчеты;

руководства по управлению авариями;

результаты тренировок, интервью и опросы оперативного персонала ХОЯТ.

97. При выполнении анализа надежности персонала рекомендуется рассматривать максимально полный перечень действий (ошибок) персонала:

действия (ошибки) персонала, вызывающие ИС;

доаварийные действия (ошибки) персонала (действия, совершаемые
до наступления ИС, которые могут привести к отказам важных для безопасности систем (элементов) ХОЯТ);

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

98. Рекомендуется выявлять возможные ошибки персонала при проверках работоспособности, техническом обслуживании и ремонте оборудования, вследствие которых элементы систем могут оказаться в состоянии неготовности на момент возникновения ИС.

99. При выполнении анализа надежности персонала рекомендуется определять и оценивать следующие типы действий персонала:

действия, основанные на навыках;

действия, основанные на правилах;

действия, основанные на знаниях.

100. Рекомендуется учитывать влияние специфики условий эксплуатации ХОЯТ на послеаварийные действия для различных ИС.

101. Исходную информацию (или ссылку на нее), используемую для оценки резервов времени, имеющегося у персонала, рекомендуется представлять в составе отчетных материалов по ВАБ ХОЯТ.

102. В рамках отборочного анализа надежности персонала рекомендуется:

назначать консервативные значения вероятностей для действий (ошибок) персонала, включенных в исходную вероятностную модель ХОЯТ с целью предотвращения исключения значимых ошибок персонала из детального анализа надежности персонала;

выполнять количественный анализ вероятностной модели ХОЯТ с использованием отборочных величин вероятности ошибки персонала (предварительный расчет).

103. Для оценки вероятностей наиболее значимых ошибок персонала рекомендуется использовать методы детального анализа действий (ошибок) персонала.

104. В рамках детального анализа надежности персонала рекомендуется выполнять следующие задачи:

отбор действий (ошибок) персонала, требующих детального анализа;

сбор информации, необходимой для детального анализа действий (ошибок) персонала;

разработку вероятностных моделей для выполнения детального анализа действий (ошибок) персонала;

определение времени выполнения действий персонала, условий их выполнения и предельных интервалов времени для выполнения этих действий;

уточнение вероятностей ошибок персонала.

105. Анализ зависимостей ошибок персонала рекомендуется проводить на основе анализа минимальных сечений, полученных при оценке суммарной вероятности тяжелых аварий или аварийных выбросов.

106. Анализ зависимостей между несколькими (двумя и более) ошибками персонала рекомендуется выполнять с учетом следующих факторов:

связи по принятию решения;

резерва времени, имеющегося в распоряжении персонала на выполнение последующего действия при выполнении и (или) невыполнении предыдущего;

взаимосвязи между действиями персонала;

каких-либо воздействий на поведение персонала.

107. При выполнении анализа надежности персонала для внешних и внутренних воздействий рекомендуется учитывать дополнительные факторы, влияющие на вероятность выполнения персоналом действий по управлению аварией.

Рекомендуется учитывать возможность проявления следующих факторов:

повышенного стресса;

сокращения времени на выполнение действия;

снижения информационного обеспечения;

невозможности осуществления операций по месту из-за возникновения условий, препятствующих выполнению действий:

запаривания и забрызгивания из-за наличия затопления;

повышения температуры окружающей среды, задымления из-за наличия огня в зоне пожара;

других возможных факторов.

108. В документации по ВАБ ХОЯТ в разделе «Анализ надежности персонала» рекомендуется приводить:

описание каждого этапа анализа надежности персонала;

описание методов, используемых при анализе надежности персонала;

допущения, ограничения и их обоснования;

ссылки на использованные источники информации и их перечень;

перечень возможных ошибок при выполнении действий персонала;

описание ошибок, которое включает наименование планового действия, описание действия и возможной ошибки при его выполнении, описание последствий совершения ошибки;

результаты количественной оценки вероятностей ошибок персонала.

VIII. Анализ зависимостей, выявленных при выполнении различных задач вероятностного анализа безопасности хранилищ отработавшего ядерного топлива

109. При расчете ВПБ ХОЯТ необходимо учитывать явные и неявные зависимости, выявленные при выполнении отдельных задач ВАБ ХОЯТ. Рекомендуется учитывать зависимости, выявленные при выполнении анализа надежности систем, при моделировании аварийных последовательностей, при определении вероятностей (частот) ИС и показателей надежности оборудования ХОЯТ, при выполнении анализа надежности персонала (например, зависимости, вызванные взаимным влиянием отказов элементов систем, прямые функциональные зависимости, зависимости между действиями персонала).

110. Рекомендуется выявлять ИС, способные приводить к зависимому повреждению или отказу систем, работа которых необходима для предотвращения повреждения ядерного топлива или аварийного выброса, и учитывать эти отказы в моделях соответствующих АП, вызванных этими событиями.

111. Рекомендуется выполнять анализ зависимых отказов систем (элементов), вызванных причинами, явно не моделируемыми в ВАБ ХОЯТ (отказами по общей причине), такими, как общность конструкции и изготовления, монтажа, калибровки, условий обслуживания и эксплуатации. В процессе анализа рекомендуется разрабатывать перечень групп элементов, подверженных отказам по общей причине, и обосновывать принятые критерии объединения этих элементов в группы. Количественную оценку показателей надежности для групп элементов, подверженных отказам по общей причине, рекомендуется выполнять в соответствии с рекомендациями главы VI Определение вероятностей (частот) ИС и показателей надежности оборудования

хранилищ отработавшего ядерного топлива настоящего Руководства по безопасности.

112. В отчетной документации по ВАБ ХОЯТ рекомендуется представлять исходные данные и результаты анализа зависимостей.

IX. Анализ внутренних пожаров

113. В рамках анализа внутренних пожаров рекомендуется выполнять следующие задачи:

определение пожарных зон;

определение систем (элементов), подверженных отказу из-за пожара, повреждение которых может вызвать ИС или снизить надежность систем (элементов), выполняющих функции безопасности;

анализ распространения пожара между пожарными зонами;

определение частот пожаров.

114. В рамках задачи по определению пожарных зон определяются помещения (наборы помещений) или области на территории ХОЯТ, которые в дальнейшем будут использоваться при разработке аварийных сценариев пожаров для отборочного анализа. В результате решения данной задачи все здания и помещения ХОЯТ разделяются на пожарные зоны.

115. Рекомендуется разрабатывать критерии формирования пожарных зон. Например:

помещение рассматривается как отдельная пожарная зона, если оно отделено от других помещений противопожарной преградой, имеющей предел огнестойкости конструкции 1,5 часа (потолок, стены, пол, двери);

помещение рассматривается как отдельная пожарная зона, если оно не оснащено противопожарной преградой, имеющей предел огнестойкости конструкции 1,5 часа и более, но при этом количество горючих материалов в помещении не приводит к распространению пожара за пределы помещения;

лестницы в зданиях рассматриваются как самостоятельные пожарные зоны, расположенные вертикально во всю высоту лестничного проема, если они отделены от других помещений ХОЯТ проходами, проемами, а двери имеют предел огнестойкости 0,5 часа или выше.

116. В качестве предварительного перечня пожарных зон рекомендуется принимать перечень (при его наличии) пожароопасных (взрывопожароопасных) зон, установленных в проекте ХОЯТ или при обосновании безопасности ХОЯТ.

117. Окончательный перечень пожарных зон рекомендуется формировать с учетом огнестойкости физических границ помещений (при их наличии) и существующих между ними связей (таких, как открытые проемы, негерметичные двери и прочее), а также достаточности обоснованности границ пожарных зон.

118. В рамках задачи по анализу распространения пожаров между пожарными зонами выполняется анализ возможности распространения огня и продуктов горения через различные связи между пожарными зонами, определяется набор пожарных зон, между которыми может распространиться огонь, горячий газ и дым, и определяются последствия распространения пожара между пожарными зонами.

119. Для выявления всех возможных последствий пожара рекомендуется разрабатывать критерии распространения пожара, горячих газов и дыма между пожарными зонами (на основании наличия негерметичных преград, отверстий, проемов, запорных устройств систем вентиляции).

120. Рекомендуется оценивать воздействия опасных факторов пожара на оборудование, расположенное в смежных пожарных зонах, через имеющиеся между помещениями связи (открытые проемы, двери, запорные устройства систем вентиляции) или вследствие прогрева ограждающих конструкций.

121. Рекомендуется учитывать ложные срабатывания систем (элементов), влияющих на выполнение функций безопасности, из-за пожара. Для учета пожарных воздействий на системы (элементы) рекомендуется идентифицировать кабели питания и управления системами (элементами), включая определение их трассировки в помещениях ХОЯТ.

122. При учете пожарных воздействий на системы рекомендуется учитывать отказы систем (элементов), которые могут происходить из-за воздействия огнетушащего вещества, поступающего во время пожаротушения.

123. Рекомендуется рассматривать следующие виды отказов кабелей при пожаре:

размыкание контура – отказ, который вызывает потерю электрической целостности проводника (жилы);

КЗ на землю – отказ, который приводит к тому, что жилы кабеля приходят в соприкосновение с заземленным элементом (например, с металлическим кабельным лотком);

КЗ – отказ, при котором обесточенный проводник контактирует с проводником, находящимся под напряжением, при этом ранее обесточенный проводник попадает под напряжение.

124. Рекомендуется рассматривать два типа КЗ:

внутрикабельное КЗ, при котором происходит замыкание проводника с проводником в пределах многожильного кабеля;

межкабельное КЗ, при котором обесточенный кабель контактирует с другим кабелем, находящимся под напряжением.

125. При определении типа отказов систем (элементов) во время пожара, включая кабели систем управления и силовые кабели, рекомендуется использовать принцип, в соответствии с которым (с учетом сценария развития аварии из-за пожара) рассматриваются отказы, приводящие к наихудшим последствиям.

126. Для оценки вероятности (частоты) возникновения пожаров в пожарных зонах могут быть использованы следующие подходы:

компонентно-ориентированный, при котором вероятности (частоты) пожаров оцениваются для каждого типа компонента пожарной зоны, рассматриваемого как потенциальный источник возгорания;

зонально-ориентированный, при котором вероятности (частоты) пожара оцениваются в зависимости от площади, занимаемой источником возгорания (может использоваться для ПУ, помещений КИП из-за специфического содержимого данных помещений или природы источников возгорания, при вычислении вероятности (частоты) пожара, обусловленного переносимыми горючими веществами, сваркой, резкой металла, самовозгоранием при высокой температуре).

127. Вероятность (частоту) пожара для пожарной зоны

рекомендуется определять как суммарное значение составляющих вероятностей (частот) от всех источников возгорания (включая вероятности возгорания от переносимых горючих материалов, сварки, резки), расположенных в пожарной зоне.

128. Результаты анализа пожаров, включая использованную исходную информацию, допущения и ограничения, необходимые ссылки, использованные в анализе, рекомендуется приводить в документации по ВАБ ХОЯТ.

X. Анализ внутренних затоплений

129. В рамках анализа внутренних затоплений рекомендуется выполнять следующие дополнительные задачи:

определение зон затоплений;

определение систем (элементов), подверженных отказу из-за затопления, повреждение которых может вызвать ИС или снизить надежность систем (элементов), выполняющих функции безопасности;

анализ распространения затоплений;

определение частот затоплений.

130. В рамках задачи по определению зон затоплений идентифицируются помещения (наборы помещений) или области на площадке ХОЯТ, которые в дальнейшем будут использоваться при разработке аварийных сценариев затоплений для отборочного анализа. В результате решения данной задачи все здания и помещения ХОЯТ разделяются на зоны затоплений.

131. Рекомендуется разрабатывать критерии для формирования зон затоплений.

132. Зоны затопления рекомендуется формировать из помещений ХОЯТ с учетом наличия физических границ, связей между ними (проемы, негерметичные двери и прочее) и возможности распространения затопления.

133. Помещение, не имеющее негерметичных связей с другими помещениями, рекомендуется рассматривать в качестве отдельной зоны затопления.

134. Рекомендуется выявлять системы (элементы) ХОЯТ, подверженные отказам из-за затопления. Список систем (элементов) ХОЯТ, подверженных затоплениям, рекомендуется формировать на основании анализа работоспособности систем (элементов)

ХОЯТ при затоплениях. При составлении списка систем (элементов), подверженных затоплению, рекомендуется учитывать эффекты запаривания и забрызгивания систем (элементов).

135. Рекомендуется постулировать отказ систем (элементов), расположенных в помещении, где происходит затопление, при достижении уровня воды в помещении следующей высотной отметки:

для насосов и вентиляторов – нижней образующей электродвигателя насоса или коммутационной коробки;

для электроприводной арматуры – нижней образующей электродвигателя привода или коммутационной коробки;

для электрических панелей и силовых выключателей – отметки расположения открытых электрических соединений (клемм, шин).

136. Рекомендуется постулировать отказ непредназначенного для работы в соответствующих условиях электрооборудования (например, вследствие запаривания или забрызгивания, происходящего в любом помещении зоны затопления).

137. В рамках задачи по анализу распространения затоплений рекомендуется выполнять анализ возможности распространения воды между зонами затопления и (или) помещениями ХОЯТ через различные связи и определять перечень повреждаемых систем (элементов).

138. Рекомендуется учитывать результаты инженерных расчетов герметичности полов (потолков) и эффективности дренажных систем в помещениях ХОЯТ.

139. Для оценки вероятности (частоты) возникновения затоплений в зонах затоплений рекомендуется использовать следующие подходы:

компонентно-ориентированный – основывается на оценке частоты затопления с использованием статистических данных о числе течей для каждого типа компонента зоны затопления, рассматриваемого как потенциальный источник затопления;

зонально-ориентированный – основывается на оценке частоты затопления с использованием статистических данных о числе течей в пределах конкретной зоны затопления и полного времени наблюдения.

140. Вероятность (частоту) затопления для зоны затопления рекомендуется определять как суммарное значение составляющих вероятностей (частот) от всех источников затопления, расположенных в зоне затопления.

141. Результаты анализа затоплений, включая исходную информацию, ссылки, использованные в анализе критерии отбора и допущения, рекомендуется приводить в документации по ВАБ ХОЯТ.

XI. Анализ внешних воздействий

142. В рамках анализа внешних воздействий рекомендуется выполнять следующие дополнительные задачи:

разрабатывать перечень внешних воздействий;

определять частоту внешних воздействий.

143. Перечень внешних воздействий рекомендуется разрабатывать в два этапа. На первом этапе рекомендуется разрабатывать предварительный перечень внешних воздействий, на втором этапе – окончательный перечень внешних воздействий.

144. Предварительный перечень внешних воздействий рекомендуется формировать с учетом:

номенклатуры процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, указанных в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии;

перечня потенциальных сочетаний внешних воздействий.

145. Возможность совместного воздействия на ХОЯТ нескольких внешних воздействий рекомендуется определять на основании анализа сочетаний внешних воздействий.

146. Рекомендуется разрабатывать качественные и количественные критерии отбора внешних воздействий.

147. Окончательный перечень внешних воздействий рекомендуется формировать из предварительного перечня внешних воздействий в соответствии с принятыми критериями отбора.

148. Рекомендуется обосновывать исключения внешних воздействий и их сочетаний и (или) указывать точные ссылки на разделы из документов, подтверждающих обоснованность исключения внешнего воздействия из дальнейшего рассмотрения.

149. Рекомендуется оценивать вероятность (частоту) внешнего воздействия. При необходимости рекомендуется

определять зависимость вероятности (частоты) внешнего воздействия от параметров внешнего воздействия (например, от скорости ветра, уровня воды).

Полученные результаты рекомендуется использовать для разработки критериев отбора внешних воздействий.

150. Вероятность (частоту) внешнего воздействия рекомендуется определять для каждого типа воздействий на основании статистических данных о внешних воздействиях данного типа.

151. Оценки частот реализации ИС при внешнем воздействии рекомендуется выполнять с учетом его интенсивности.

152. В отчетной документации по ВАБ ХОЯТ в рамках анализа внешних воздействий рекомендуется представлять результаты выполнения задач по анализу внешних воздействий, включая детальные сведения об исходных данных, использованных для определения вероятностей (частот) внешних воздействий:

метеорологические данные в районе ХОЯТ в объеме, достаточном для обоснования оценок частот внешних воздействий;

данные о внешних воздействиях, имевших место в районе размещения ХОЯТ;

данные о внешних воздействиях, произошедших за пределами территории ХОЯТ, если отсутствуют данные о внешних воздействиях, произошедших на рассматриваемой территории ХОЯТ (целесообразность и обоснованность применения указанных данных рекомендуется обосновывать);

предварительные и окончательные перечни внешних воздействий;

перечни внешних воздействий, исключенных из анализа на основании принятых критериев исключения (отбора);

примененные критерии исключения (отбора) (качественный или количественный);

матрицу сочетаний внешних воздействий;

результаты оценки вероятностей (частот) внешних воздействий в зависимости от их интенсивности;

основные этапы анализа по оценке частот внешних

воздействий и их сочетания, вошедшие в окончательный перечень внешних воздействий;

ссылки на методики, использованные для статистической обработки информации при оценке частот внешних воздействий и построении зависимостей вероятностей (частот) внешних воздействий от их интенсивности.

XII. Анализ аварий и определение их последствий

153. Назначением данной задачи является: проведение расчетов запроектных аварий для ХОЯТ, относящихся к объектам ЯТЦ, с целью получения информации о развитии запроектной аварии, в частности, информации о физических явлениях запроектной аварии (окисление и плавление тепловыделяющих элементов, образование и горение водорода и другие явления), о пути протекания аварии, характере изменения теплофизических параметров систем (элементов) ХОЯТ, выбросах радиоактивных веществ, вышедших в окружающую среду (количество, состав); оценка последствий выбросов РВ в окружающую среду.

154. Расчеты запроектных аварий рекомендуется проводить для всех АП, отличающихся видом конечных состояний.

155. Результаты расчетов запроектных аварий (величины теплофизических параметров РУ и ГО, количество РВ, вышедших в окружающую среду из ХОЯТ, физические явления при запроектной аварии (например, разрушение тепловыделяющих сборок, горение водорода в помещениях ХОЯТ, эрозия бетона при его взаимодействии с разрушенными компонентами тепловыделяющих сборок и другие факторы) рекомендуется использовать для уточнения моделей АП и видов их конечных состояний.

156. Исследования запроектной аварии рекомендуется выполнять с использованием программных средств, комплексно описывающих развитие различных процессов (от ИС до повреждения ядерного топлива или выброса РВ в окружающую среду) при запроектной аварии. Исследования запроектной аварии допускается выполнять с использованием иных подходов, применимость которых рекомендуется обосновывать в разделе по анализу аварий и их последствий в составе отчетных материалов по ВАБ ХОЯТ.

157. Результаты расчетов запроектной аварии, выполненных

в рамках разрабатываемого ВАБ ХОЯТ, или результаты расчетов запроектной аварии, выполненных в рамках других исследований и использованных для целей данного ВАБ ХОЯТ с обоснованием их применимости, рекомендуется представлять в составе отчетных материалов по ВАБ ХОЯТ.

158. Для выполнения расчетов запроектных аварий рекомендуется использовать программные средства, которые позволяют моделировать:

оборудование, материалы, системы, помещения, влияющие на протекание запроектной аварии;

тепловыделение в ядерном топливе;

процессы разрушения ядерного топлива (например, окисление оболочек тепловыделяющих элементов, плавление тепловыделяющих элементов) и смежных конструкций ХОЯТ (например, плавление) во время запроектной аварии;

экзотермические реакции взаимодействия материалов тепловыделяющих элементов с водяным паром, сопровождающиеся выделением водорода;

перемещение разрушенных компонентов тепловыделяющих сборок и смежных конструкций в расположенные ниже области ХОЯТ;

перемещение разрушенных компонентов тепловыделяющих сборок и смежных конструкций в расположенные ниже области и их взаимодействие с материалами пола помещения ХОЯТ (например: эрозия бетона, образование водорода, окиси углерода, выход радиоактивных аэрозолей);

процессы образования и горения водорода и окиси углерода.

159. Для оценки выхода РВ в окружающую среду рекомендуется использовать программные средства, позволяющие моделировать:

выход РВ из ядерного топлива и тепловыделяющих элементов;

выход РВ из контейнеров;

образование РВ в результате процессов взаимодействия разрушенных компонентов тепловыделяющих сборок с конструкциями помещений ХОЯТ;

перенос и осаждение РВ внутри помещений ХОЯТ и за их

пределами (процессы гравитационного осаждения, термофореза, диффузиофореза, агломерации аэрозолей и осаждения их на горизонтальных и вертикальных поверхностях конструкций ХОЯТ);

выход РВ в окружающую среду.

160. Учитываемый при выполнении расчетов запроектных аварий состав РВ в ядерном топливе и их количество рекомендуется обосновывать в разделе по анализу аварий в составе отчетных материалов по ВАБ ХОЯТ.

161. Последствия выбросов РВ в окружающую среду при запроектной аварии рекомендуется определять в дозах облучения персонала ХОЯТ и населения на различных расстояниях от ХОЯТ. Расчеты последствий выбросов РВ в окружающую среду при запроектной аварии рекомендуется проводить для всех АП, отличающихся видом конечных состояний.

162. Для оценки последствий выбросов РВ в окружающую среду во время запроектной аварии рекомендуется использовать программные средства, позволяющие моделировать основные физические процессы, возникающие при распространении РВ в окружающей среде (перенос, рассеивание в атмосфере, осаждение РВ), и оценивать дозы облучения населения на различных расстояниях от ХОЯТ с учетом метеорологических условий, усредненных для рассматриваемой площадки ХОЯТ.

163. На различных расстояниях от ХОЯТ, включая границу зоны планирования защитных мероприятий, рекомендуется производить оценку доз облучения населения для каждой АП, отличающейся видом конечного состояния.

164. Рекомендуется устанавливать аварийные последовательности, приводящие к выбросам РВ в окружающую среду, которые характеризуются превышением доз облучения населения на границе зоны планирования защитных мероприятий, указанных в пункте 6.7 Санитарных правил и нормативов «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009), утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. № 47. Вероятности реализации АП с превышением доз облучения населения на границе зоны планирования защитных мероприятий рекомен-

дуется использовать для расчета ВПБ для ХОЯТ, относящихся к объектам ЯТЦ.

165. В отчетной документации по ВАБ ХОЯТ, относящихся к объектам ЯТЦ, рекомендуется представлять информацию о дозах облучения населения на различных расстояниях от ХОЯТ, включая границу зоны планирования защитных мероприятий, с соответствующими пояснениями (для всех аварийных последовательностей, отличающихся видом конечного состояния).

XIII. Анализ значимости, чувствительности и неопределенности

166. В рамках данной задачи рекомендуется выполнять:

оценку значимости факторов, наиболее сильно влияющих на результаты расчетов ВПБ;

оценку чувствительности результатов расчетов ВПБ к исходным данным и факторам, наиболее сильно влияющим на результаты расчетов ВПБ;

оценку неопределенности расчетов ВПБ ХОЯТ, обусловленную вероятностным характером параметров надежности элементов, наступления ИС, совершения ошибок персоналом.

167. Анализ значимости рекомендуется выполнять для всех АП, характеризующихся превышением дозовых пределов облучения населения на границе зоны планирования защитных мероприятий, указанных в пункте 6.7 Санитарных правил и нормативов «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009), утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. № 47.

168. Анализ значимости рекомендуется выполнять с использованием методов, основанных на оценке снижения (увеличения) вероятности тяжелой аварии или вероятности выбросов РВ в окружающую среду при постулировании максимально (минимально) возможной вероятности реализации событий, соответствующих элементам вероятностных моделей ХОЯТ.

169. Результатом анализа значимости являются вероятностные оценки основных элементов вероятностной модели ХОЯТ, в наибольшей степени влияющих на ВПБ ХОЯТ. При выполнении анализа значимости рекомендуется рассматривать:

ИС;

АП (минимальные сечения);

состояния с повреждением источников радиоактивности;

отказы элементов и систем;

события запроектной аварии;

ошибки персонала.

170. Анализ чувствительности рекомендуется выполнять в отношении ИС, АП, отказов элементов, отказов систем, физических явлений при запроектных авариях, ошибок персонала. А также для допущений анализа и рекомендаций по обеспечению безопасности ХОЯТ, разработанных на основании результатов ВАБ ХОЯТ.

171. При анализе чувствительности к принятым допущениям рекомендуется рассматривать все принятые допущения и упрощения, влияющие на результаты ВАБ ХОЯТ.

172. Оценки влияния допущений рекомендуется выполнять как индивидуально для каждого допущения, так и в совокупности для всех допущений.

173. При помощи результатов анализа чувствительности рекомендуется оценивать влияние на ВПБ ХОЯТ использованных в анализе упрощений, допущений и ограничений, а также рекомендаций по обеспечению безопасности ХОЯТ.

174. Результатом анализа неопределенностей является оценка неопределенности (вероятностное распределение) ВПБ ХОЯТ в зависимости от характеристик неопределенности различных факторов, поддающихся статистической (вероятностной) оценке.

XIV. Разработка вероятностной модели хранилищ отработавшего ядерного топлива, расчет вероятностных показателей безопасности, анализ и представление результатов вероятностного анализа безопасности хранилищ отработавшего ядерного топлива

175. В рамках данной задачи рекомендуется разработать вероятностную модель ХОЯТ и выполнить расчет ВПБ для всех режимов эксплуатации ХОЯТ. Расчет ВПБ рекомендуется проводить для каждого из рассматриваемых радиоактивных источников.

176. На основе разработанной вероятностной модели ХОЯТ, данных по надежности элементов, частот ИС и вероятностей ошибок персонала рекомендуется сгенерировать минимальные сечения для АП и выполнить расчет вероятностей реализации АП и ВПБ.

177. При выполнении расчетов рекомендуется не вводить ограничения на количество элементов в минимальных сечениях.

178. Расчеты рекомендуется выполнять методом итерации, изменяя ограничения на отсечение АП по признакам малой вероятности реализации совокупности событий и отказов оборудования, отраженных в минимальных сечениях, или по максимальному количеству элементов в минимальных сечениях до тех пор, пока разница в оценке вероятности повреждения твэлов на окончательной итерации не составит менее 0,1 % от вероятности, оцененной на предыдущем шаге итерационного процесса. Ограничения рекомендуется выбирать таким образом, чтобы обеспечивать получение оценок значений ВПБ ХОЯТ для всех групп ИС, рассматриваемых в ВАБ ХОЯТ, и так, чтобы суммарный вклад в ВПБ ХОЯТ неучтенных АП не превышал 1 %.

179. Рекомендуется идентифицировать все минимальные сечения, содержащие более одной ошибки персонала. Для всех подобных минимальных сечений рекомендуется учитывать зависимости между действиями персонала.

180. Все граничные условия и особые события, использованные при выполнении количественных расчетов, рекомендуется описывать в отчетной документации по ВАБ ХОЯТ для обеспечения возможности воспроизведения полученных результатов.

181. Вероятностную оценку безопасности ХОЯТ рекомендуется проводить путем сравнения ВПБ ХОЯТ с целевыми ориентирами безопасности ХОЯТ, установленными в пункте 6.1.8 федеральных норм и правил в области использовании атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла» (НП-016-05), утвержденных постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2005 г. № 11 для ХОЯТ, относящихся к объектам ЯТЦ, и в пункте 1.2.17 федеральных норм и правил в области использовании 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 для ХОЯТ, имеющихся на АС, но не входящих в состав блоков АС.

182. В отчетной документации по ВАБ ХОЯТ рекомендуется приводить:

представление и анализ результатов ВАБ ХОЯТ для внутренних ИС;

представление и анализ результатов ВАБ ХОЯТ для внутренних пожаров;

представление и анализ результатов ВАБ ХОЯТ для внутренних затоплений;

представление и анализ результатов ВАБ ХОЯТ для внешних воздействий.

183. В отчетной документации по ВАБ ХОЯТ рекомендуется представлять:

оценку соответствия ВПБ ХОЯТ целевым ориентирам, установленным в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии для ХОЯТ;

результаты анализа значимости, включая информацию о наиболее значимых системах, базисных событиях, выбросах РВ в окружающую среду, а также, информацию о наиболее значимых АП; интерпретировать полученные результаты;

результаты анализа чувствительности и неопределенности и степень их влияния на технические выводы, полученные на основе результатов ВАБ ХОЯТ;

выводы, полученные на основе анализа результатов ВАБ ХОЯТ;

рекомендации по обеспечению безопасности ХОЯТ, включая технические и организационные меры по управлению запроектными авариями.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к руководству по безопасности при
использовании атомной энергии
«Рекомендации к разработке вероятного
анализа безопасности для хранилищ
отработавшего ядерного топлива»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 10 февраля 2017 г. № 51

Перечень сокращений

АС	–	атомная станция
АП	–	аварийная последовательность
ВАБ	–	вероятностный анализ безопасности
ВПБ	–	вероятностный показатель безопасности
ГО	–	герметичная оболочка
ИС	–	исходное событие
КЗ	–	короткое замыкание
КИП	–	контрольный измерительный прибор
МАГАТЭ	–	Международное агентство по атомной энергии
ОЯТ	–	отработавшее ядерное топливо
ПУ	–	пульт управления
РАО	–	радиоактивные отходы
РВ	–	радиоактивные вещества
РУ	–	реакторная установка
ХОЯТ	–	хранилище отработавшего ядерного топлива
ЯТЦ	–	ядерный топливный цикл

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к руководству по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации к разработке вероятного анализа безопасности для хранилищ отработавшего ядерного топлива», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 февраля 2017 г. № 51

Термины и определения

В целях настоящего Руководства по безопасности используются следующие термины и определения.

Аварийный выброс – выход радиоактивного вещества и (или) ионизирующего излучения в окружающую среду в количествах, превышающих установленные пределы безопасной эксплуатации.

Аварийная последовательность – последовательность событий, состоящая из ИС, пути протекания аварии и конечного состояния АП.

Анализ значимости – анализ влияния на результаты ВАБ отдельных параметров вероятностной модели.

Анализ неопределенности – анализ влияния на результаты ВАБ 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 на значения ВПБ.

Базисное (первичное) событие – элементарное событие модели ВАБ, характеризующееся определенным набором параметров надежности.

Вероятностный анализ безопасности хранилищ отработавшего ядерного топлива – качественный и количественный анализ безопасности ХОЯТ, в процессе которого разрабатываются вероятностные модели и определяются вероятности путей протекания и конечных состояний аварий, в том числе тяжелых аварий и большого аварийного выброса.

Вероятностный показатель безопасности – суммарная вероятность тяжелых аварий для имеющихся на АС хранилищ ядерного топлива (не входящих в состав блоков АС) на интервале в один год и суммарная вероятность аварийных выбросов, характеризующихся превышением доз облучения населения на границе зоны планирования защитных мероприятий, установленных нормами радиационной безопасности для ХОЯТ, относящихся к объектам ЯТЦ, для одного ХОЯТ на интервале в один год.

Внутреннее воздействие – внутренний пожар или внутреннее затопление.

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

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

Внутреннее исходное событие – ИС, которое может быть вызвано отказом систем (элементов) ХОЯТ, ошибкой персонала или сочетаниями указанных событий.

Внешнее воздействие – внешнее по отношению к ХОЯТ явление природного или техногенного происхождения.

Дерево событий – граф, отображающий логику развития аварии, используемый для моделирования АП.

Дерево отказов – граф, отображающий логику отказа системы, используемый для моделирования функциональных событий.

Значимость – количественная характеристика влияния отдельных элементов вероятностной модели на результаты ВАБ.

Зона затопления – помещение или несколько помещений ХОЯТ, не имеющих барьеров для взаимопроникновения воды за счет различных видов связей и отделенных от других помещений ХОЯТ наличием таких барьеров.

Категория аварийного выброса – совокупность конечных состояний с аварийным выбросом, сгруппированных на основе признаков, влияющих на количество и состав радиоактивного вещества (ионизирующего излучения), вышедших в окружающую среду.

Конечное состояние аварийной последовательности – установившееся контролируемое состояние систем и элементов ХОЯТ после ИС в отсутствие повреждения тепловыделяющих элементов выше максимального проектного предела, которое может поддерживаться в течение неограниченного времени (успешное конечное состояние), или состояние систем и элементов с повреждением тепловыделяющих элементов выше максимального проектного предела (неуспешное конечное состояние АП для имеющихся на АС хранилищ ядерного топлива (не входящих в состав блоков АС), или состояние систем и элементов с аварийным выбросом (неуспешное конечное состояние АП для ХОЯТ, относящихся к объектам ЯТЦ). Для ХОЯТ, где максимальный проектный передел не установлен, повреждение тепловыделяющих элементов должно определяться иными пределами, установленными в проекте.

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

Вероятностная модель – взаимосвязанная совокупность математических моделей ИС, АП, систем (элементов), ошибок персонала, а также значений вероятностных характеристик ИС, надежности систем (элементов), отказов по общей причине, рассматриваемых в ВАБ, ошибок персонала и других данных, необходимых для оценки ВПБ ХОЯТ.

Минимальное сечение – минимальный набор базисных событий, приводящих к нарушению работоспособности системы, невыполнению функций безопасности, неуспешному конечному состоянию.

Неопределенность – неоднозначность (нечеткость) определения ВПБ, обусловленная вероятностной природой моделируемых явлений и неполнотой знаний о развитии физических процессов.

Обобщенные данные – данные по частотам ИС и параметрам надежности оборудования, полученные на основе информации, не связанной непосредственно с исследуемым ХОЯТ.

Отказы по общей причине – отказы систем (элементов), являющиеся следствием человеческих ошибок при проектировании, сооружении и эксплуатации объектов или следствием неблагоприятных воздействий окружающей среды.

Ошибочные действия персонала – ошибки и ошибочные решения персонала, а также невыполнение необходимых действий персоналом.

Пожарная зона – помещение или несколько помещений ХОЯТ без установленных между ними барьеров, препятствующих распространению пожара за счет различных видов связей, и отгороженных от других помещений ХОЯТ огнестойкими барьерами или физическим разделением.

Специфические данные – данные по частотам ИС и параметрам надежности оборудования, полученные на основе информации, непосредственно связанной с исследуемым ХОЯТ.

Тяжелая авария – запроектная авария с повреждением твэлов выше максимального проектного предела.

Частота события – число событий в единицу времени.

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии

Рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности для хранилищ отработавшего ядерного топлива
РБ-116-17

Официальное издание
Ответственный за выпуск Синицына Т.В.
Верстка выполнена в ФБУ «НТЦ ЯРБ» в полном соответствии с приложением к приказу Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 февраля 2017 г. № 51
Подписано в печать 20.02.2017

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





Данный продукт изготовлен компанией, система менеджмента качества которой сертифицирована в TUV Rheinland

Система менеджмента качества ФБУ «НТЦ ЯРБ» сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2008 и межгосударственного стандарта ГОСТ ISO 9001-2011

gost.e-ecolog.ru