Федеральная служба
по экологическому, технологическому и атомному надзору

УТВЕРЖДЕНО
приказом
Федеральной службы
по экологическому,
технологическому
и атомному надзору
от 9 сентября 2011 г.
№ 519

ПОЛОЖЕНИЕ ОБ ОСНОВНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЯХ К РАЗРАБОТКЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ИНИЦИИРУЮЩИХ СОБЫТИЙ ДЛЯ ВСЕХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОБЛОКА АТОМНОЙ СТАНЦИИ

РБ-024-11

Введено в действие
с 9 сентября 2011 г.

Москва 2011

gost.e-ecolog.ru

Положение об основных рекомендациях к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних инициирующих событий для всех режимов работы энергоблока атомной станции (РБ-024-11)*

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору

Москва, 2011

Положение об основных рекомендациях к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних инициирующих событий для всех режимов работы энергоблока атомной станции носит рекомендательный характер и не является нормативным правовым актом.

Содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по выполнению вероятностного анализа безопасности уровня 1 энергоблока атомной станции для внутренних инициирующих событий и всех возможных эксплуатационных состояний проектируемых, сооружаемых и действующих энергоблоков атомных станций с реакторами различных типов. Выполнение данных рекомендаций направлено на соблюдение современных требований к качеству вероятностного анализа безопасности уровня 1, которое подтверждается экспертизой.

Выпускается взамен РБ-024-02 «Рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций уровня 1 для внутренних инициирующих событий (при работе блока в режиме выработки электроэнергии во внешнюю сеть)», утвержденного постановлением Госатомнадзора России от 31 декабря 2002 г. № 13.

---

* Разработано коллективом авторов в составе Т.В. Берг, В.А. Бредова, Г.И. Самохин, Д.Е. Носков, И.Р. Сахибзадинова, О.И. Морозова, С.А. Хижняк (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), Г.А. Ершов (ОАО «Атомэнергопроект», г. С-Петербург), И.А. Былов (ОАО ОКБМ, г. Нижний Новгород), Ю.В. Швыряев, В.Б. Морозов, Г.В. Токмачев (ОАО «Атомэнергопроект», г. Москва), Е.А. Шиверский (ОАО «Ордена Ленина НИКИЭТ им. Н.А. Доллежаля»), С.В. Петрунина (ОАО «Атомэнергопроект», г. Нижний Новгород).

I.I. Общие положения

1. Положение об основных рекомендациях к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних инициирующих событий для всех режимов работы энергоблока атомной станции (далее – Положение) входит в число руководств по безопасности, носит рекомендательный характер и не является нормативным правовым актом.

2. Настоящее Положение содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по выполнению вероятностного анализа безопасности уровня 1 энергоблока атомной станции для внутренних инициирующих событий и всех возможных эксплуатационных состояний проектируемых, сооружаемых и действующих энергоблоков атомных станций с реакторами различных типов. Выполнение данных рекомендаций направлено на соблюдение современных требований к качеству вероятностного анализа безопасности уровня 1, которое подтверждается экспертизой.

3. В настоящем Положении сформулированы рекомендации к определению целей выполнения вероятностного анализа безопасности уровня 1, перечню и объему исследований, составу и содержанию разрабатываемой документации, условиям обеспечения качества исследований.

Перечень сокращений, используемых в настоящем Положении, приведён в Приложении № 1, термины и определения – в Приложении № 2.

II.II. Общие рекомендации к выполнению вероятностного анализа безопасности уровня 1

4. Основными целями ВАБ-1 являются:

- разработка вероятностных моделей для определения конечных состояний энергоблока с повреждением радиоактивного источника;
- оценка значений вероятностных показателей безопасности;
- оценка уровня безопасности энергоблока в терминах вероятностных показателей безопасности;
- разработка рекомендаций по повышению уровня безопасности энергоблока на основании результатов ВАБ-1.

5. ВАБ-1 рекомендуется разрабатывать для следующих радиоактивных источников:

- ядерное топливо в активной зоне реактора;
- ядерное топливо в местах хранения отработавшего топлива (например в бассейне выдержки/перегрузки, барабане отработавших сборок);
- отработавшее ядерное топливо при транспортировании.

6. Для эффективного использования результатов ВАБ-1 рекомендуется разрабатывать реалистические вероятностные модели АС, наиболее близко отражающие действительное состояние энергоблока, для чего рекомендуется использовать:

- проектную и эксплуатационную документацию, отражающую текущее состояние проектируемого или действующего энергоблока;
- результаты реалистических (неконсервативных) анализов аварийных процессов;
- данные по вероятностным показателям базисных событий, полученные из опыта эксплуатации действующих АС или оцененные с применением реалистических (неконсервативных) моделей, или приведенные в проектно-конструкторской документации на элементы и оборудование.

7. Разработку очередных (последующих) версий (редакций) ВАБ-1 рекомендуется производить с учетом устранения недостатков, сформулированных в замечаниях экспертизы и внесенных в проектную и эксплуатационную документацию изменений, а также с учетом обновленных результатов анализов аварийных процессов и обновленной базы данных по количественным показателям надежности базисных событий.

8. При выполнении ВАБ-1 решаются следующие задачи:

- сбор и обработка исходной информации, необходимой для характеристики энергоблока АС как объекта ВАБ-1 и для выполнения ВАБ-1;
- отбор и группирование ЭС энергоблока;
- отбор и группирование ИС;
- моделирование аварийных последовательностей;
- анализ надёжности систем;
- анализ данных;
- анализ надёжности персонала;
- анализ зависимостей;
- разработка логико-вероятностных моделей энергоблока АС;
- расчёт вероятностных показателей безопасности энергоблока АС;
- анализ неопределённости, чувствительности и значимости;
- оценка уровня безопасности энергоблока АС и анализ результатов ВАБ;
- разработка рекомендаций по повышению уровня безопасности АС на основе результатов ВАБ.

9. Значение вероятности повреждения твэлов рекомендуется рассчитывать для интервала времени, равного календарному году. В случае, когда указанная вероятность рассчитана для интервала времени, не равного календарному году, рекомендуется производить перерасчет вероятности к одному календарному году.

10. Исходная информация для выполнения ВАБ-1 собирается, подготавливается и представляется в отчетной документации в объеме, необходимом для обеспечения полноты, качества выполнения и воспроизведения ВАБ-1 при проведении его экспертизы.

11. ВАБ-1 выполняется на основании:

- проектной и эксплуатационной документации;
- результатов детерминистических анализов, проведенных в рамках выполняемого ВАБ-1;
- результатов детерминистических анализов, приведенных в отчетах по обоснованию безопасности АС, результатов детерминистических анализов, выполненных для аналогичных энергоблоков (применимость результатов детерминистических анализов, выполненных для аналогичных энергоблоков, к исследуемому рекомендуется обосновывать);
- действующих нормативных документов, руководств по безопасности;
- документов МАГАТЭ.

12. Принимаемые при выполнении ВАБ-1 ограничения и допущения рекомендуется обосновывать. Ограничения и допущения не должны приводить к искажениям количественных и качественных показателей безопасности. Степень влияния допущений и ограничений на результаты ВАБ-1 рекомендуется исследовать при анализе чувствительности.

13. Результаты выполнения ВАБ-1 энергоблока АС, включая логико-вероятностную модель (модели), содержащую модели аварийных последовательностей и модели выполнения функций безопасности системами АС и/или

персоналом, базисные события с их параметрами надежности, логические ключи, граничные условия и другие атрибуты модели, а также полученные в результате расчетов наборы минимальных сечений и вероятности их реализации для конечных состояний, аварийных последовательностей и моделируемых функций (моделей выполнения функций безопасности системами АС и/или персоналом), рекомендуется сохранять и представлять при проведении экспертизы в объеме и в виде, которые достаточны для воспроизведения анализов.

14. В случае использования информации из документации, не входящей в передаваемый на экспертизу комплект, необходимо достаточное для понимания изложение этой информации в передаваемом комплекте документации или приведение прослеживаемых (с указанием разделов) ссылок на первичную документацию.

15. В случае использования ссылок на первичную документацию рекомендуется таким образом формировать перечень ссылочной документации, чтобы она содержала информацию о проведенных исследованиях в объеме, достаточном для анализа полученных и использованных результатов и выводов.

16. Отчётная документация, разработанная в рамках ВАБ-1, в полном объёме представляется для проведения экспертизы в организацию, уполномоченную на ее проведение Ростехнадзором. По запросу указанной организации на время проведения экспертизы разработчиками ВАБ обеспечивается доступность логико-вероятностной модели ВАБ-1 и любых материалов, на которые имеются ссылки в отчетной документации по ВАБ-1, за исключением материалов, опубликованных в открытой печати.

17. Рекомендуемый состав отчетных документов по ВАБ-1 приведен в Приложении № 3 к настоящему Положению.

III.III. Отбор и группирование эксплуатационных состояний энергоблока

18. В рамках данной задачи выполняется составление перечня ЭС энергоблока, оценка параметров ЭС, формирование, при необходимости, групп ЭС и оценка параметров групп ЭС.

19. Решать задачу рекомендуется поэтапно:

- составить перечень всех возможных ЭС;
- определить границы между ЭС, которые будут рассматриваться в ВАБ для работы на номинальном и частичном уровне мощности и в ВАБ для состояний с заглушенным реактором, перегрузки топлива, пуска и останова;
- предварительно сгруппировать ЭС;
- оценить параметры выделенных групп ЭС;
- окончательно сгруппировать ЭС;
- детально описать и оценить параметры групп ЭС.

20. Для составления перечня ЭС рекомендуется использовать:

- технологический регламент, инструкцию по эксплуатации РУ и другую эксплуатационную документацию (для действующих энергоблоков АС или АС с аналогичным типом реактора);
- опыт эксплуатации анализируемого энергоблока АС и энергоблоков АС с аналогичным типом реактора (для проектируемых энергоблоков может использоваться опыт эксплуатации аналогичных энергоблоков, при его наличии);
- регламенты ППР;
- планы-графики ППР;

- графики несения нагрузки;
- результаты выполнения данной задачи в ВАБ для аналогичных энергоблоков АС;
- результаты инженерного анализа энергоблока АС (в том числе необходимые расчетные обоснования и другие типы анализов);
- рекомендации руководств МАГАТЭ по ВАБ.

21. При составлении перечня ЭС энергоблока рекомендуется учитывать возможность его работы на уровнях мощности, отличных от полной мощности, с оборудованием или каналами СБ, выведенными в ремонт, виды остановов, особенности ЭС при останове, расхолаживании, подготовке к перегрузке ядерного топлива и/или ремонту энергоблока АС, перегрузке ядерного топлива и/или ремонте энергоблока АС, подготовке к пуску, пуске.

22. Рекомендуется рассматривать следующие виды остановов энергоблока (с учетом специфики энергоблока и возможности реализации видов останова):

- плановый останов энергоблока для перегрузки (частичной и полной) ядерного топлива и ремонта оборудования;
- плановый останов энергоблока для проведения ремонта оборудования;
- остановы, вызванные нарушениями нормальной работы энергоблока на мощности, в том числе аварийные (с выгрузкой и без выгрузки топлива).

Рекомендуется рассматривать как остановы с расхолаживанием до «холодного» состояния РУ, так и кратковременные остановы без расхолаживания.

23. Рекомендуется объединять ЭС энергоблока в группы с целью сокращения количества аварийных сценариев, моделируемых в ВАБ. Группирование ЭС рекомендуется производить по схожести:

- ИС;
- степени критичности реактора;
- уровня остаточных тепловыделений;
- температуры, давления и других параметров теплоносителя первого контура;
- уровня теплоносителя в реакторе;
- степени герметичности первого контура (уплотнен или разуплотнен);
- количества подключенных петель;
- местонахождения ядерного топлива;
- способа отвода остаточных тепловыделений;
- работоспособности систем, участвующих в выполнении моделируемых функций, включая обеспечивающие системы;
- наличия или отсутствия автоматических блокировок на запуск систем;
- конфигурации систем (все каналы системы в работе или в режиме ожидания или часть каналов выведена в ремонт);
- состояния системы герметичных ограждений (санитарные и транспортные шлюзы открыты/закрыты);
- параметров РУ, влияющих на параметры хрупкой прочности корпуса реактора;
- других параметров, относящихся к рассматриваемым в ВАБ радиоактивным источникам.

24. При определении параметров ЭС энергоблока рекомендуется использовать следующие подходы:

- мощность остаточных тепловыделений принимать равной значению, соответствующему началу ЭС;

- температуру и давление первого контура в режимах расхолаживания после останова реактора принимать равными значениям, которые соответствуют началу ЭС; в режимах разогрева перед выходом на МКУ мощности – значениям, которые соответствуют концу ЭС;
- уровень теплоносителя в реакторе для ЭС, в которых он не постоянен (снижается или поднимается), принимать равным минимальному значению для этого ЭС.

25. Если в одну группу включаются ЭС, отличающиеся друг от друга по одному или нескольким параметрам, указанным в п. 23, то при выборе и группировании ИС, а также при моделировании аварийных последовательностей необходимо учитывать все особенности данной группы ЭС и для всей группы ЭС использовать наиболее неблагоприятные (по влиянию на безопасность) параметры.

26. Допускается включать отдельные кратковременные ЭС, значительно отличающиеся по отдельным параметрам от ближайших групп ЭС, в ту или иную группу, если их суммарная продолжительность составляет менее 0,1% календарного года (менее 8 ч) и при этом их суммарный вклад в вероятностный показатель безопасности не превышает 1%.

27. Длительность ЭС энергоблока рекомендуется определять на основе данных технологических регламентов и инструкций по эксплуатации РУ, регламентов ППР, планов-графиков ППР или расчетным путем, с учетом опыта эксплуатации энергоблоков АС.

Для проектируемых АС эти данные рекомендуется определять на основе информации из проектной документации и/или документов и опыта эксплуатации энергоблоков-аналогов. Для расчета длительности ЭС проектируемых АС рекомендуется использовать усредненную оценку длительности ЭС энергоблоков-аналогов, исходя из истории их эксплуатации. При необходимости, рекомендуется учитывать поправку, обусловленную различием в длительности плановых остановов проектируемого энергоблока и энергоблоков-аналогов.

Исходная информация, используемая для оценки длительности ЭС энергоблока, представляется в составе материалов ВАБ-1.

28. Резервы времени, которыми располагает персонал для выполнения противоаварийных действий, рекомендуется рассчитывать с учетом мощности остаточных тепловыделений, которая будет иметь место на момент аварии, уровня теплоносителя в реакторе или бассейне выдержки и других факторов.

Исходная информация, используемая для оценки резервов времени, имеющегося у персонала, представляется в составе материалов ВАБ-1.

29. В описание групп ЭС из окончательного списка включается вся информация, необходимая для оценки надежности систем, формирования исходных данных для теплогидравлических расчетов, определения границ между группами ЭС.

IV.IV. Отбор и группирование инициирующих событий

30. В рамках данной задачи выполняется составление перечня внутренних ИС и их группирование для каждой группы ЭС.

31. Для составления первоначального перечня ИС рекомендуется использовать результаты:

- анализа обобщенных перечней ИС для аналогичных энергоблоков АС;
- инженерного анализа энергоблока АС (необходимые расчетные обоснования, анализ инструкций по ликвидации проектных аварий, преда-

варийных ситуаций и нарушений нормальной эксплуатации, анализ технологического регламента, анализ руководств по управлению запроектными авариями, анализ, выполняемый методом логических диаграмм, и другие типы анализов);

- анализа перечней ИС, использовавшихся при выполнении детерминистических анализов безопасности для анализируемого энергоблока АС, аналогичных энергоблоков АС и энергоблоков АС с аналогичным типом реактора;
- опыта эксплуатации анализируемого энергоблока АС и энергоблоков АС с аналогичным типом реактора (для проектируемых энергоблоков может использоваться опыт эксплуатации аналогичных энергоблоков, при его наличии);
- анализа документов МАГАТЭ, содержащих рекомендуемые перечни ИС.

32. При выполнении анализа ИС рекомендуется рассматривать ИС, вызванные:

- отказами систем (элементов систем), в том числе обеспечивающих;
- ошибками персонала;
- потерей внешнего электроснабжения АС (потеря внешнего электроснабжения АС, вызванная внешними причинами, формально относится к внешним ИС, но ее рекомендуется рассматривать в ВАБ-1 для внутренних ИС).

33. В перечень принимаемых к анализу ИС рекомендуется включать события, потенциально приводящие к повреждению твэлов, находящихся в активной зоне реактора и в бассейне выдержки/перегрузки. Отбор ИС, подлежащих анализу, рекомендуется производить в соответствии с разработанными и обоснованными критериями отбора.

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

- малой вероятности возникновения ИС;
- потенциально низкого вклада ИС в ЧПЗ;
- большого интервала времени между моментом возникновения ИС и моментом срабатывания системы защиты реактора.

34. Для стояночных режимов энергоблока рекомендуется также рассматривать ИС, которые могут быть следствием ошибок при проведении регламентных проверок работоспособности оборудования и различных испытаний.

35. При выполнении анализа ИС рекомендуется выделять ИС, вызывающие:

- зависимые повреждения или отказы систем, требуемых для предотвращения повреждения твэлов в активной зоне реактора и в других местах их размещения;
- зависимые отказы систем на нескольких энергоблоках АС (при анализе энергоблока, имеющего общие системы с другими энергоблоками).

36. Группирование ИС осуществляется путём обоснования схожести:

- сценариев развития аварии и достигаемых конечных состояний;
- требований к работе систем энергоблока АС и действиям персонала (критериев успеха).

37. При отборе ИС допускается исключение ИС или групп ИС из дальнейшего рассмотрения, если их вклад в оценку вероятности повреждения твэлов не превышает 0,1%. Суммарный вклад исключенных из рассмотрения ИС не должен

превышать 1% от оценки вероятности повреждения твэлов, перечень исключенных ИС необходимо приводить в составе документации ВАБ.

38. Рекомендуется выполнять анализ возможности возникновения ИС в конкретных ЭС энергоблока и группах ЭС. Не рекомендуется исключать из рассмотрения группу ИС для конкретной группы ЭС, если возникновение даже одного события, входящего в группу ИС, возможно хотя бы в одном ЭС, входящем в группу ЭС.

39. Рекомендуется, чтобы критерии успеха моделируемых функций для группы ИС были не менее строгими (консервативными), чем критерии успеха моделируемых функций для каждого ИС, включённого в группу. Рекомендуется соблюдать баланс между минимизацией числа рассматриваемых групп ИС, с одной стороны, и предотвращением излишнего консерватизма, вносимого процедурой группирования, с другой стороны. Критерии успеха моделируемых функций ИС формулируются на основе теплогидравлических расчётов, основные результаты которых приводятся в составе материалов ВАБ-1. При этом в документации ВАБ рекомендуется привести прослеживаемые ссылки на материалы, содержащие детальные результаты этих расчетов.

40. Для ИС с разрывами/течами трубопроводов границы размеров разрывов трубопроводов, принадлежащих различным группам ИС, рекомендуется определять с помощью детерминистических исследований.

41. Частоты ИС, вызванных ошибками персонала, рекомендуется определять на основе статистической информации по опыту эксплуатации анализируемого энергоблока и (или) его аналогов. Для оценки частот ИС, вызванных ошибками персонала, которые были выявлены на основе инженерного анализа проекта (не проявились за время эксплуатации энергоблока), могут использоваться методы анализа надёжности персонала.

V.V. Моделирование аварийных последовательностей

42. В рамках данной задачи выполняется разработка логико-вероятностных моделей аварийных последовательностей (далее – моделей аварийных последовательностей). При этом определяются пути протекания аварий, требования к срабатыванию различных систем и к выполнению действий персонала, критерии успеха моделируемых функций систем и действий персонала.

Результаты моделирования аварийных последовательностей используются при анализе надежности систем, анализе надежности персонала, разработке логико-вероятностной модели энергоблока АС и определении сценариев для проведения дополнительных детерминистических анализов аварийных процессов.

43. Модели аварийных последовательностей разрабатываются для всех отобранных групп ИС и для каждой группы ЭС.

44. Рекомендуется определять и описывать виды конечных состояний аварийных последовательностей (безопасные и небезопасные). Допускается более детальное деление небезопасных конечных состояний на основе дополнительной информации, содержащейся в разработанных моделях аварийных последовательностей, например критериев отказов систем, величины давления первого контура, при котором происходит повреждение твэлов в активной зоне реактора, возможности байпасирования системы герметичных ограждений и других факторов.

45. Интервал времени при моделировании аварийных последовательностей рекомендуется принимать равным не менее 24 ч с момента возникновения ИС. Указанный интервал времени рекомендуется расширять в случае, если за

его пределами возможно достижение небезопасного конечного состояния аварийных последовательностей по следующим причинам:

- исчерпание запасов охлаждающей среды, топлива, масла, сжатых газов при невозможности возобновить эти запасы;
- устойчивое развитие неблагоприятных физических процессов, приводящих к небезопасным конечным состояниям аварийных последовательностей.

46. При обосновании выбранного периода времени моделирования аварийных последовательностей рекомендуется исходить из того, что постепенное увеличение указанного периода не должно приводить к скачкообразному увеличению величины вероятности повреждения твэлов. При этом интервал моделирования должен превышать время восстановления отказавшего оборудования систем (каналов) в условиях функционирования других систем (каналов), обеспечивающих безопасность энергоблока относительно рассматриваемой функции.

47. При построении моделей аварийных последовательностей рекомендуется руководствоваться следующим:

- моделируемые функции должны учитывать причинно-следственные связи и (по возможности) располагаться в хронологическом порядке;
- не рекомендуется упрощать модели аварийных последовательностей с целью сокращения их размеров, если при этом возможна потеря значимых аварийных последовательностей (к значимым аварийным последовательностям рекомендуется относить аварийные последовательности, вносящие вклад в вероятностный показатель безопасности для всех аварийных последовательностей больший, чем 0,01%);
- рекомендуется, чтобы суммарный вклад неучтенных аварийных последовательностей в вероятностный показатель безопасности не превышал 1% и был учтен при оценке общего вероятностного показателя безопасности).

48. При построении моделей аварийных последовательностей рекомендуется учитывать влияние одних моделируемых событий на другие, например воздействие на работоспособность оборудования систем истекающих струй, биений трубопроводов, летящих предметов, ударных волн, вторичных пожаров, воздействий температурных деформаций в конструкционных материалах и других факторов. При этом рекомендуется учитывать зависимость режима работы систем от характера аварийного процесса, возможность работы одних систем при отказе других.

49. Логику построения моделей аварийных последовательностей, включая характер развития аварий, достижение конечных состояний аварийных последовательностей, критерии успеха моделируемых функций и резервы времени для действий персонала рекомендуется обосновывать детерминистическими анализами.

50. Результаты детерминистических анализов, используемых для обоснования моделей аварийных последовательностей, рекомендуется представлять в отчетной документации по ВАБ-1. В случае использования результатов анализов, выполненных в рамках других исследований, рекомендуется приводить краткие описания результатов этих исследований, полные прямые ссылки на источники информации и обосновывать применимость анализов к исследуемому энергоблоку АС.

VI.VI. Анализ надежности систем

51. В рамках данной задачи выполняется разработка логико-вероятностных моделей систем для всех моделируемых функций, в которых задействована анализируемая система, и количественная оценка надежности систем, частот (вероятностей реализации) ИС, аварийных последовательностей и конечных состояний, определённых в рамках ВАБ-1.

52. При анализе надежности систем рекомендуется использовать следующую последовательность действий:

описать:

- систему (назначение, технологическую или структурную схему, функционирование при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, контроль при эксплуатации, блокировки и защиты, пределы и условия безопасной эксплуатации, порядок технического обслуживания и ремонта, действия оператора по управлению системой);
- функции безопасности, выполняемые системой, и критерии успеха при выполнении данных функций;
- допущения, использованные при разработке логико-вероятностной модели системы, включая границы системы и ее элементов, исходное состояние системы, упрощенную схему системы (при необходимости), перечень исключенного из рассмотрения оборудования;
- способ разработки логико-вероятностной модели;
- элементы логико-вероятностной модели, 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, события, связанные с неготовностью из-за вывода в ремонт, постулируемые события;
- базисные события модели, соответствующие действиям (ошибкам) персонала, включая доаварийные и послеаварийные действия (ошибки);

выполнить:

- анализ зависимостей системы от других систем;
- анализ отказов общего вида;
- разработку графических моделей системы (деревья отказов или графы другого вида);
- расчеты показателей надежности системы для всех моделируемых функций.

53. При разработке логико-вероятностных моделей надёжности систем рекомендуется учитывать особенности всех ЭС энергоблока, ИС и аварийных последовательностей.

54. Критерии успеха выполнения моделируемой функции (функций), используемые при анализе надежности систем, рекомендуется согласовывать с критериями успеха моделируемых функций и требованиями к учёту явных зависимостей, определенными в рамках задачи «Моделирование аварийных последовательностей».

55. Границы элементов систем рекомендуется определять таким образом, чтобы при построении модели был обеспечен учет всех видов отказов, которые

могут повлиять на способность систем выполнять свои функции, определённые в рамках ВАБ-1.

56. При построении логико-вероятностных моделей систем рекомендуется рассматривать и анализировать все возможные виды отказов, связанные с изменением состояния элементов систем при переходе энергоблока из режима нормальной эксплуатации в аварийный режим.

57. Границы и виды отказов элементов систем, используемые в задачах «Анализ надёжности систем» и «Анализ данных», рекомендуется выбирать в строгом соответствии друг с другом.

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

59. Построение моделей систем необходимо производить с учетом влияния неработоспособности (неготовности) элементов систем из-за ремонта или тестирования на способность систем выполнять функции безопасности при аварии. Для этого рекомендуется использовать информацию по проверкам работоспособности, техническому обслуживанию и ремонту оборудования систем. При построении моделей рекомендуется учитывать только разрешённые технологическим регламентом комбинации выводимого в ремонт оборудования систем. Полученные результаты необходимо учитывать при решении задачи «Анализ данных».

60. Рекомендуется выявлять возможные ошибки персонала, которые могут привести к отказу систем во время аварии, произошедшей по причине неправильных действий персонала при выполнении регламентных проверок, технического обслуживания или ремонта или при вводе в эксплуатацию оборудования систем после этих работ. Детальный анализ надежности персонала выполняется в рамках отдельной задачи ВАБ.

61. Рекомендуется анализировать реакцию систем на каждое из рассматриваемых ИС. Необходимо учитывать зависимости успешного выполнения моделируемых функций системы от ИС и конкретных аварийных последовательностей, в том числе зависимости, вызванные наличием общих элементов различных систем или наличием общих обеспечивающих систем.

62. Необходимо выявлять зависимости (взаимное влияние) между системами и/или каналами систем, а также учитывать возможность возникновения отказов общего вида.

63. 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 ИС.

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

VII.VII. Анализ данных

65. В рамках данной задачи выполняется определение вероятностей (частот) групп ИС (для всех ЭС) и оценка показателей надежности элементов с помощью статистических методов, с использованием данных по отказам элементов и нарушениям в работе энергоблока АС, известных из опыта эксплуатации исследуемого энергоблока, а также обобщённых данных и иных методов.

Результатами решения данной задачи ВАБ-1 являются количественные показатели надежности элементов систем и вероятностей (частот) ИС, используемые при проведении вероятностных расчетов надежности систем энергоблока АС, вероятности реализации аварийных последовательностей и вероятностных показателей безопасности энергоблока.

66. Рекомендуется оценивать следующие показатели надежности элементов систем:

- вероятность отказа на требование и/или интенсивность отказов в режиме ожидания;
- интенсивность отказов при работе;
- коэффициент неготовности (среднее время восстановления), обусловленный плановым или неплановым техническим обслуживанием или ремонтом, проверками работоспособности;
- вероятность отказа общего вида или параметры модели отказов общего вида.

67. Рекомендуется выбирать в строгом соответствии друг с другом границы и виды отказов элементов систем, определённые в задаче «Анализ надежности систем», с целью обеспечения их соответствия данным из доступных источников информации, используемым для оценки показателей надежности.

68. Рекомендуется определять и обосновывать критерии классификации отказов по видам (отказ на запуск, отказ при работе, отказ на требование) и по характеру (повреждение или отказ).

69. При выполнении ВАБ-1 рекомендуется собирать данные по надежности оборудования с учётом специфики ЭС энергоблока. К таким данным могут относиться увеличенное время вывода в ремонт, которое не связано непосредственно с восстановлением оборудования, дополнительные выводы оборудования из режима оперативной готовности для проведения технического освидетельствования, уменьшение наработки оборудования, отключение защит и блокировок и другие данные.

70. При выполнении ВАБ-1 оценку вероятности (частоты) 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 времени, то вероятность (частота) ИС пропорциональна длительности ЭС. Если ИС вызвано отказами оборудования/ошибками оператора при выполнении регламентных технологических операций, проверок и испытаний, то вероятность (частота) ИС пропорциональна числу операций. Кроме того, рекомендуется учитывать частоту всех видов остановов энергоблока (для ЭС, характерных для определенного останова), в котором возникают рассматриваемые ИС.

71. Для обеспечения аддитивности вклада от различных ЭС при определении суммарной вероятности повреждения твэлов рекомендуется выполнять оценку частоты ИС в размерности «1/календарный год».

72. Рекомендуется, чтобы используемая для оценки вероятности (частоты) ИС статистическая информация о нарушениях в работе энергоблока АС включала сведения о событиях, произошедших в периоды рассматриваемых ЭС энергоблока.

73. При оценке вероятности (частоты) групп ИС в ВАБ-1 рекомендуется учитывать специфику ЭС, а именно:

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

- изменения параметров энергоблока (например давление, температура);
- специфические работы персонала по обслуживанию, ремонту и проверкам.

74. Рекомендуется, чтобы используемая для оценки частоты ИС статистическая информация о нарушениях в работе энергоблока АС включала также данные о нарушениях в работе энергоблока АС, вызванных ошибками персонала.

75. Для оценки показателей надежности и вероятности (частоты) ИС рекомендуется применять данные, специфические для исследуемого энергоблока АС и энергоблоков-аналогов, а также обобщенные данные. Не рекомендуется использование только обобщенных данных при выполнении ВАБ-1 действующих энергоблоков АС.

76. При использовании обобщенных данных рекомендуется приводить ссылки на использованные источники информации, а также сведения об обобщённых 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-1. В случае использования нескольких источников обобщенных данных рекомендуется описывать и обосновывать подход, принятый для выбора информации из этих источников.

77. Оценку неготовности элементов систем из-за проверок работоспособности рекомендуется выполнять для всех элементов систем, моделируемых в ВАБ-1, которые при проверках работоспособности находятся в состоянии, не позволяющем выполнять требуемую моделируемую функцию.

78. Вероятность отказов общего вида элементов систем рекомендуется оценивать с использованием общепринятых подходов и данных (например модель «бета-фактора», модель «альфа-фактора», модель «греческих букв», «биномиальная» модель). Применение оригинальных подходов рекомендуется обосновывать.

79. Не рекомендуется изменять размерность группы оборудования, подверженного отказам общего вида, если в конкретной группе ЭС один или несколько каналов системы выведены из работы.

80. Частоту редких ИС рекомендуется оценивать с применением вероятностных методов механики разрушения, моделей надежности систем (ИС, вызываемые отказами систем) или методов экспертной оценки.

81. Частоту инициирующих событий, вызванных ошибками оператора при выполнении проверок и испытаний оборудования, рекомендуется определять с использованием методов анализа надёжности персонала. Статистические методы оценки частоты таких событий допускаются при наличии достоверной и представительной статистической информации по опыту эксплуатации анализируемого энергоблока и его аналогов.

82. В документации ВАБ-1 рекомендуется представлять процедуры обработки исходной информации, допущения, принятые при анализе данных, а также рассчитанные показатели надежности элементов систем и вероятности (частоты) ИС (для каждой группы ЭС) с соответствующими характеристиками неопределенности.

VIII.VIII. Анализ надёжности персонала

83. В рамках данной задачи проводится анализ невыполнения или неправильного выполнения единичных и/или множественных действий персонала при

проведении проверок работоспособности и технического обслуживания оборудования и управлении аварией.

Результатом анализа надежности персонала являются оценки вероятности ошибок персонала, используемые при проведении вероятностных расчетов показателей надежности систем энергоблока АС, частоты инициирующих событий, вероятности реализации аварийных последовательностей и вероятностные показатели безопасности энергоблока.

84. Анализ надёжности персонала рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- сбор информации о действиях, выполняемых персоналом при эксплуатации энергоблока;
- описание метода анализа надёжности персонала;
- определение действий (ошибок) персонала, моделируемых в ВАБ;
- проверка обоснованности включения в модель ВАБ базисных событий, соответствующих действиям (ошибкам) персонала;
- описание принятых допущений и ограничений для каждого вида ошибок персонала;
- моделирование действий (ошибок) персонала;
- проведение отборочного анализа ошибок персонала (при необходимости);
- проведение детального анализа надёжности персонала;
- анализ зависимостей между несколькими действиями персонала;
- оценка чувствительности результатов анализа надёжности персонала;
- документирование результатов анализа надёжности персонала.

85. Информация по энергоблоку АС, рекомендуемая для выполнения анализа надёжности персонала, может быть получена из:

- эксплуатационных инструкций (инструкции по эксплуатации РУ, регламенты, инструкции по техническому обслуживанию и ремонту и другие инструкции);
- теплогидравлических и иных инженерных расчетов;
- результатов тренировок на тренажерах, интервьюирований и опросов оперативного персонала АС.

86. В документации по ВАБ-1 рекомендуется приводить описание методов, используемых при анализе надёжности персонала.

87. При проведении ВАБ-1 необходимо рассматривать максимально полный перечень действий для следующих видов ошибок персонала:

- действия (ошибки) персонала, вызывающие ИС;
- доаварийные действия (ошибки) персонала (действия, совершаемые до наступления ИС, которые могут повлиять на готовность систем энергоблока АС к работе);
- послеаварийные действия (ошибки) персонала (действия, выполняемые персоналом после наступления ИС).

88. При анализе действий (ошибок) персонала, указанных в п. 87, рекомендуется приводить:

- описание общего подхода к анализу данного вида действий (ошибок);
- перечень принятых допущений и ограничений;
- перечень источников информации;
- перечень выявленных ошибок;
- характеристики ошибок (например, наименование планового действия, описание действия и возможной ошибки при его выполнении, описание последствий совершения ошибки);

- результаты количественной оценки вероятности ошибки персонала.

89. При анализе доаварийных ошибок персонала необходимо рассматривать действия, возможные при проверках работоспособности, техническом обслуживании и ремонте оборудования, вследствие которых элементы систем могут оказаться в состоянии неготовности на момент возникновения ИС.

90. Рекомендуется учитывать следующие типы действий персонала:

- действия, основанные на навыках;
- действия, основанные на правилах;
- действия, основанные на знаниях.

91. Рекомендуется учитывать влияние на действия персонала специфики условий эксплуатации энергоблока при различных ЭС, ИС и аварийных сценариях.

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

93. Отборочный анализ может проводиться с целью сокращения объема анализа и проведения дальнейшего детального моделирования только для наиболее важных с точки зрения безопасности действий (ошибок) персонала. Отборочный анализ включает в себя:

- назначение консервативных отборочных величин вероятности для всех действий (ошибок) персонала, включенных в исходную модель ВАБ;
- количественный анализ логико-вероятностной модели ВАБ с использованием отборочных величин вероятности ошибки персонала (предварительный расчет).

94. При выполнении детального анализа надёжности персонала рекомендуется включать в него следующие этапы:

- выделение действий (ошибок) персонала, требующих детального анализа;
- разработка детальных моделей действий (ошибок) персонала;
- сбор информации, необходимой для детальных расчетов;
- выполнение детального анализа надёжности персонала;
- определение длительности интервалов времени, необходимых для выполнения действий персонала, и предельных сроков выполнения этих действий;
- выполнение количественной оценки вероятности ошибки персонала;
- уточнение вероятности ошибки персонала в базе данных ВАБ.

95. При оценке вероятностей значимых ошибок персонала рекомендуется использовать методы детального анализа.

96. Анализ зависимостей ошибок персонала рекомендуется проводить на основе анализа минимальных сечений, полученных при оценке вероятностей реализации небезопасных конечных состояний.

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

- связь по принятию решения;
- резерв времени, имеющийся в распоряжении персонала на выполнение последующего действия при выполнении и/или невыполнении предыдущего;
- взаимосвязь между действиями персонала;
- влияющие на поведение факторы.

98. Оценку неопределенности вероятности ошибки персонала рекомендуется проводить, принимая значение фактора ошибки для вероятности ошибки персонала, равным 10, в случае, если не обосновано иное.

IX.IX. Анализ зависимостей

99. Анализ зависимостей выполняется в целях обеспечения:
- учета возможных зависимостей, выявленных на этапе выполнения отдельных задач ВАБ-1;
- выявления и учета неявных зависимостей;
- непротиворечивости учета зависимостей, выявленных при выполнении отдельных задач ВАБ-1, в других задачах и в модели ВАБ-1 в целом.

100. Рекомендуется выполнять анализ ИС, возникновение которых может приводить к зависимому повреждению или отказу систем, требуемых для предотвращения повреждения твэлов после возникновения ИС. При выявлении таких ИС рекомендуется дополнять перечень ИС и делать соответствующие уточнения при моделировании аварийных последовательностей.

101. Рекомендуется обеспечивать полноту и непротиворечивость моделирования зависимостей, выявленных при выполнении задач «Анализ надежности систем», «Моделирование аварийных последовательностей», «Анализ данных» и «Анализ надежности персонала» (например взаимного влияния отказов элементов систем, прямых функциональных зависимостей, зависимостей между действиями персонала).

102. Анализ неявных зависимостей рекомендуется проводить на основании опыта выполнения других ВАБ-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.

103. Рекомендуется выполнять анализ зависимых отказов элементов систем, вызванных причинами, явно не моделируемыми в ВАБ-1 (отказами общего вида), такими, как общность конструкции и изготовления, монтажа, калибровки, условий обслуживания и эксплуатации. В процессе анализа разрабатывается перечень групп элементов, подверженных отказам общего вида, и обосновываются принятые критерии объединения этих элементов в группы. Количественную оценку показателей надежности для групп элементов, подверженных отказам общего вида, следует выполнять в соответствии с рекомендациями главы «Анализ данных».

X.X. Разработка логико-вероятностных моделей энергоблока атомной станции

104. В рамках данной задачи выполняется разработка логико-вероятностных моделей энергоблока АС, отображающих процесс функционирования энергоблока АС, взаимодействие систем и элементов и действия персонала для всех групп ЭС и для всех групп ИС, которые могут иметь место в этих группах ЭС.

105. Рекомендуется приводить описание функций, для которых разрабатывались логико-вероятностные модели систем и которые учитывались при разработке моделей аварийных последовательностей.

106. Рекомендуется приводить общее описание разработанных логико-вероятностных моделей, при этом указывать для каких режимов эксплуатации энергоблока (видов ЭС, видов останова) разрабатывались модели, для каких

групп ИС, количество моделей аварийных последовательностей и другие сведения о логико-вероятностных моделях.

107. Рекомендуется давать описание подходов, использованных для исключения из логико-вероятностной модели логических петель и взаимоисключающих базисных событий.

108. Рекомендуется описывать использованные способы учета зависимостей между действиями персонала и других зависимостей, выявленных при решении задачи «Анализ зависимостей» (глава IX).

109. Рекомендуется приводить перечень и значения логических операторов (House Event), используемых при моделировании для формирования изменяемых граничных условий, структурной логики моделей надежности систем.

110. Рекомендуется приводить описание способов учета влияния периодических проверок на модели надежности элементов, находящихся в режиме ожидания.

XI.XI. Расчет вероятностных показателей безопасности энергоблока атомной станции

111. В рамках данной задачи выполняется количественный анализ логико-вероятностных моделей энергоблока АС и расчет вероятностных показателей безопасности при возникновении внутренних ИС как для отдельных ЭС, так и для всего периода работы энергоблока. Расчет вероятностных показателей безопасности производится для каждого из рассматриваемых радиоактивных источников.

112. При выполнении данной задачи на основе разработанных логико-вероятностных моделей энергоблока АС, данных по надежности элементов, частот ИС и вероятностей ошибок персонала проводится генерация минимальных сечений аварийных последовательностей, расчет вероятностей реализации аварийных последовательностей и вероятностных показателей безопасности.

113. Рекомендуется приводить описания принятых при расчетах допущений и ограничений (об экспоненциальном виде законов распределения времени безотказной работы и времени восстановления, величине вероятностного порога отсечения незначащих минимальных сечений и других принятых при расчётах допущений).

114. Рекомендуется приводить описание всех наборов логических операторов включения (исключения), использованных при количественных расчетах.

115. Не рекомендуется вводить ограничения на количество элементов в минимальных сечениях.

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

117. Расчеты рекомендуется выполнять методом итерации, изменяя ограничения на отсечение аварийных последовательностей 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 вероятности повреждения твэлов для всех групп ИС, рассматриваемых в ВАБ-1, и так, чтобы суммарный вклад в вероятность повреждения твэлов неучтенных аварийных последовательностей не превышал 1%.

118. Все граничные условия и особенности, использованные при выполнении количественных расчетов, рекомендуется описывать в отчетной документации по ВАБ-1 для обеспечения возможности воспроизведения полученных результатов.

XII.XII. Анализ неопределенности, чувствительности и значимости

119. В рамках данной задачи выполняются:

- оценка неопределенности расчетов вероятностных показателей безопасности, обусловленной вероятностной природой моделируемых явлений и неполнотой знаний о развитии физических процессов;
- оценка значимости факторов, наиболее сильно влияющих на результаты расчетов вероятностных показателей безопасности;
- оценка чувствительности результатов расчетов вероятностных показателей безопасности к исходным данным, использованным при их выполнении; выявление факторов, наиболее сильно влияющих на результаты расчетов вероятностных показателей безопасности.

120. Рекомендуется выполнять анализ следующих типов неопределенности:

- параметрической неопределенности (неопределенность параметров надежности элементов систем, ИС, ошибок персонала);
- неопределенности, связанной с принятыми допущениями и ограничениями анализа, с неполнотой моделей (степень влияния данного вида неопределенности на вероятностные показатели безопасности рекомендуется оценивать с помощью методов анализов чувствительности).

121. При выполнении ВАБ-1 рекомендуется стремиться к тому, чтобы неопределенности анализа не оказывали принципиального влияния на технические выводы, полученные на основе анализа результатов ВАБ-1.

122. Анализ чувствительности рекомендуется проводить по всем идентифицированным в ВАБ-1 факторам, которые значительно влияют или могут повлиять на результаты и выводы ВАБ-1, в частности, в отношении рекомендаций (для каждой из рекомендаций, а также одновременно для всех рекомендаций) по повышению уровня безопасности энергоблока АС.

123. При анализе чувствительности к принятым допущениям и упрощениям рекомендуется:

- рассматривать все принятые допущения и упрощения, влияющие на результаты ВАБ-1;
- приводить технические обоснования принятых допущений со ссылками на использованные анализы, мнение экспертов или нормативные документы и требования;
- оценивать влияние допущений на результаты и выводы ВАБ-1.

124. Оценку влияния допущений на результаты ВАБ рекомендуется выполнять как для каждого отдельного допущения, так и для совокупности допущений, как при консервативном, так и при оптимистическом их рассмотрении.

125. Анализ значимости рекомендуется выполнять в отношении следующих основных составляющих модели ВАБ-1:

- ЭС и/или групп ЭС;
- ИС и/или групп ИС;
- элементов систем (базисных событий);
- действий (ошибок) персонала;

- минимальных сечений;
- аварийных последовательностей;
- систем (функций).

Рекомендуется также выполнять оценки совокупной значимости классов и видов составляющих модели ВАБ-1:

- ЭС и/или групп ЭС;
- ИС и/или групп ИС;
- ошибок персонала, вида ошибок персонала, зависимых ошибок персонала;
- видов отказов элементов систем (независимых и отказов общего вида);
- неготовности оборудования вследствие проверок работоспособности, технического обслуживания и ремонта;
- систем безопасности и систем, обеспечивающих выполнение определенных функций безопасности.

126. Анализ значимости рекомендуется выполнять с использованием методов, основанных как на оценке снижения, так и увеличения вероятности повреждения твэлов при постулировании отсутствия или наличия неблагоприятного состояния элементов логико-вероятностной модели ВАБ-1.

127. Результаты анализа неопределенности, чувствительности и значимости рекомендуется приводить в отчетной документации по ВАБ-1.

XIII.XIII. Оценка уровня безопасности энергоблока атомной станции и анализ результатов вероятностного анализа безопасности уровня 1

128. После проведения оценки уровня безопасности энергоблока АС и анализа результатов ВАБ-1 в отчетной документации представляются:

- оценка соответствия полученных в результате ВАБ вероятностных показателей безопасности (ВПБ) энергоблока АС установленным целевым ориентирам;
- результаты анализа значимости для всех указанных в пункте 125 составляющих модели ВАБ-1 (с учетом результатов анализа неопределенности и чувствительности);
- выводы и рекомендации по результатам ВАБ.

129. Оценка уровня безопасности энергоблока АС (в вероятностных показателях безопасности) проводится путём определения точечного значения суммарной вероятности тяжёлых запроектных аварий. При этом рекомендуется стремиться, чтобы указанная величина не превышала целевого показателя, равного 10^{-5} на реактор в год, установленного в пункте 4.2.2 Общих положений обеспечения безопасности атомных станций, утвержденных Постановлением Госатомнадзора России от 14 ноября 1997 г. № 9.

130. Рекомендуется представлять информацию о наиболее значимых аварийных последовательностях, выявленных в результате количественного анализа.

131. Рекомендуется приводить объяснение физического смысла результатов, полученных при анализах неопределенности, чувствительности и значимости:

- результаты анализа неопределенности с указанием основных источников неопределенности, связанных с каждой значимой аварийной последовательностью, и оценку влияния неопределенностей на результаты ВАБ-1;

- результаты анализа чувствительности к различным факторам наиболее значимых аварийных последовательностей и оценок вероятности повреждения твэлов;
- результаты анализа влияния упрощений и допущений на результаты ВАБ;
- причины высокой значимости элементов модели (если таковые будут выявлены).

132. В отчетной документации рекомендуется представлять выводы, полученные на основе анализа результатов ВАБ-1, в том числе:

- оценку соответствия уровня безопасности энергоблока АС установленным вероятностным показателям безопасности;
- оценку достижения целей, поставленных в ВАБ-1;
- перечень выявленных наиболее значимых факторов, существенно влияющих на вероятность повреждения твэлов;
- оценку влияния неопределенностей на выводы и рекомендации ВАБ-1;
- рекомендации по повышению уровня безопасности энергоблока АС, разработанные на основе полученных результатов ВАБ, и рекомендации по повышению качества ВАБ;
- оценку влияния на вероятностные показатели безопасности рекомендаций по повышению уровня безопасности энергоблока АС.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к Положению об основных рекомендациях
к разработке вероятностного анализа безопасности
уровня 1 для внутренних инициирующих
событий для всех режимов работы
энергоблока атомной станции, утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 9 сентября 2011 г. № 519

Перечень сокращений

АС	– атомная станция
ВАБ	– вероятностный анализ безопасности
ВАБ-1	– вероятностный анализ безопасности первого уровня
ИС	– инициирующее событие
МАГАТЭ	– Международное агентство по атомной энергии
МКУ	– минимально контролируемый уровень мощности
ООВ	– отказы общего вида
ППР	– планово-предупредительный ремонт
РУ	– реакторная установка
СБ	– система безопасности
ЧПЗ	– частота повреждения активной зоны
ЭС	– эксплуатационное состояние
твэл	– тепловыделяющий элемент

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к Положению об основных рекомендациях
к разработке вероятностного анализа
безопасности уровня 1 для внутренних
инициирующих событий для всех
режимов работы энергоблока
атомной станции, утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 9 сентября 2011 г. № 519

Основные термины и определения

Аварийная последовательность – последовательность событий, приводящая к определенному конечному состоянию энергоблока АС; включает в себя инициирующее событие, события, связанные с успешным или неуспешным выполнением функций безопасности системами АС и/или персоналом, а также безопасное или небезопасное конечное состояние.

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

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 вероятностных показателей безопасности АС.

Базисное (первичное) событие – элементарное событие, входящее в вероятностную модель АС и характеризующееся определенным набором количественных вероятностных показателей.

Вероятностный анализ безопасности энергоблока атомной станции – системный анализ безопасности энергоблока АС, в процессе которого разрабатываются вероятностные модели, определяются значения вероятностных показателей безопасности и результаты которого используются для качественных и количественных оценок уровня безопасности энергоблока АС и выработки решений при проектировании и эксплуатации энергоблока АС.

Вероятностный анализ безопасности энергоблока атомной станции уровня 1 – ВАБ АС, содержанием которого является разработка вероятностной модели энергоблока АС для определения конечных состояний с повреждением радиоактивных источников и оценки значений вероятностей их реализации.

Вероятностная модель энергоблока атомной станции – взаимосвязанная совокупность математических моделей аварийных последовательностей, систем, элементов, действий персонала, а также баз данных с вероятностными характеристиками ИС, надежности элементов, систем, отказов общего вида, надежности персонала и другими исходными данными, необходимыми для оценки вероятностных показателей безопасности АС.

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

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

Инициирующее событие – событие, возникновение которого непосредственно приводит к неуспешному конечному состоянию или может привести к такому состоянию при невыполнении функций безопасности; исходя из особенностей используемых методов ВАБ, ИС делятся на три класса: внутренние ИС, ИС, вызванные внутренними воздействиями, ИС, вызванные внешними воздействиями.

Радиоактивный источник – элемент или система АС, содержащий(ая) ядерное топливо или радиоактивные вещества.

Конечное состояние – установившееся в результате развития аварии состояние элементов, систем энергоблока АС и энергоблока АС в целом, характеризующееся степенью повреждения радиоактивного источника или характеристиками выбросов радиоактивных веществ и радиационным воздействием на персонал и население. В ВАБ-1 конечное состояние характеризуется степенью повреждения твэлов в активной зоне реактора и бассейне выдержки/перегрузки.

Конечное безопасное состояние – стабильное состояние энергоблока, при котором не превышаются установленные проектные пределы для аварий.

Конечное небезопасное состояние – состояние энергоблока, характеризующееся превышением установленных проектных пределов для аварий.

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

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

Неопределенность – неоднозначность (нечеткость) определения вероятностных показателей безопасности, 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 энергоблоком (АС).

Отказы общего вида – разновидность отказов по общей причине, являющихся следствием человеческих ошибок при проектировании, сооружении и эксплуатации объектов или следствием неблагоприятных воздействий окружающей среды.

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

Частота события – число событий в единицу времени.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3
к Положению об основных рекомендациях
к разработке вероятностного анализа
безопасности уровня 1 для внутренних
инициирующих событий для всех режимов
работы энергоблока атомной станции,
утвержденному приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 9 сентября 2011 г. № 519

Рекомендуемый состав отчётных документов по вероятностному анализу безопасности уровня 1

Общие положения

Основной отчет по ВАБ для состояний энергоблока с заглушенным реактором, ремонтом, перегрузкой топлива, пуском и остановом может разрабатываться отдельно от основного отчета для состояний энергоблока при работе на номинальном и частичном уровне мощности. В этом случае его рекомендуется разрабатывать в соответствии с нижеприведенными рекомендациями.

Глава 1. Цели и объем вероятностного анализа безопасности уровня 1

Рекомендуется приводить информацию о характеристиках радиоактивных источников, рассматриваемых эксплуатационных состояниях, поставленных целях, объеме исследований и задачах, выполняемых в рамках ВАБ-1, описывать основные предположения и ограничения, принятые при анализе.

Глава 2. Краткое описание атомной станции

Приводится краткая информация о площадке размещения АС, РУ, турбинной установке, системе контроля и управления энергоблоком, системах основного и аварийного электроснабжения, системах охлаждения основного оборудования и системах, участвующих в выполнении функций безопасности. Приводятся ссылки на соответствующие источники, содержащие более детальную информацию.

Глава 3. Описание методик, руководств и компьютерных программ

Представляются краткие описания методик, руководств и компьютерных программ, используемых для:

- анализа, отбора и группирования ЭС;
- анализа, отбора и группирования ИС;
- моделирования аварийных последовательностей;
- анализа надежности систем;
- анализа данных;
- анализа надежности персонала;
- анализа зависимостей;
- выполнения расчетов вероятности повреждения твэлов;
- анализа неопределенности, чувствительности и значимости;

- оценки уровня безопасности и анализа результатов ВАБ-1.

При характеристике методик, руководств и компьютерных программ, используемых для выполнения каждой из вышеперечисленных задач, приводятся ссылки на соответствующие источники, содержащие более детальную информацию.

Глава 4. Отбор и группирование эксплуатационных состояний энергоблока

Приводится информация об исходных данных и результатах выполнения задачи «Отбор и группирование эксплуатационных состояний энергоблока», в том числе:

- определение ЭС;
- информация о типах остановов энергоблока;
- информация обо всех возможных ЭС при работе энергоблока на номинальном и/или частичном уровнях мощности, останове энергоблока, расхолаживании, ППР, перегрузке ядерного топлива, разогреве, пуске;
- информация о параметрах ЭС: указываются все основные характеристики (параметры) каждого ЭС (в табличной форме);
- информация о конфигурации энергоблока и систем безопасности в каждом ЭС, о возможности достижения уставок срабатывания систем безопасности;
- информация о видах деятельности персонала для каждого ЭС;
- информация о принципах, критериях и результатах группирования выбранных ЭС;
- описание групп ЭС, достаточное для дальнейшего анализа (отбора и группирования ИС и моделирования аварийных последовательностей).

Глава 5. Отбор и группирование инициирующих событий

Приводится информация об исходных данных и результатах выполнения задачи «Анализ, отбор и группирование ИС», в том числе:

- определение ИС;
- критерии отбора ИС для последующего анализа;
- описание процесса и результатов анализа отбора ИС;
- анализ событий с использованием методов, указанных в главе IV п. 31 настоящего Положения;
- перечень всех идентифицированных потенциальных ИС;
- анализ результатов отбора ИС (на основе критериев отбора), выбранных для исследования в ВАБ-1;
- перечень ИС, исключенных из дальнейшего рассмотрения с обоснованием причин их исключения;
- информация о принципах и критериях группирования ИС;
- описание процесса группирования ИС, обоснование группирования ИС на основании результатов детерминистических анализов, подтверждающих критерии успеха моделируемых функций ИС и результаты анализа итогов группирования ИС;
- перечень групп ИС, выбранных для проведения ВАБ-1;
- перечень ИС, включенных в каждую группу.

Приводятся результаты анализа возможности возникновения отдельных групп ИС к каждой из выявленных групп ЭС. При этом результаты этого анализа рекомендуется оформлять в виде матрицы соответствия ИС и ЭС.

Приводится перечень возможных нефункциональных зависимостей, связанных с ИС (например «запаривание» в турбинном зале, увеличение вероятности засорения приямка, динамические и термические воздействия на оборудование), идентифицированных разработчиками ВАБ-1.

Глава 6. Моделирование аварийных последовательностей

Представляется информация о результатах выполнения задачи «Моделирование аварийных последовательностей» и приводятся ссылки на источники исходной информации, в том числе описания:

- процесса моделирования аварийных последовательностей, инициирующего события, проектного протекания аварии, расчетного обоснования аварии или ссылки на него;
- принятых при моделировании аварийных последовательностей основных допущений и ограничений;
- выбора рассматриваемых конечных состояний аварийных последовательностей;
- моделируемых функций, включая описание необходимых для выполнения каждой функции наборов систем и их конфигураций;
- способов управления оборудованием (автоматически или персоналом);
- управляющих сигналов;
- действий персонала по управлению оборудованием и системами после возникновения ИС;
- критериев успеха моделируемых функций аварийных последовательностей, включая прямые ссылки на детерминистические обоснования этих критериев;
- кратких результатов детерминистических анализов (расчетов), выполненных для обоснования логики развития аварийных последовательностей и критериев успеха моделируемых функций (название режима, перечень отказов оборудования и действий персонала, принятые при анализе критерии, заключение об удовлетворении /неудовлетворении принятым критериям, обоснование возможности использования результатов расчётов для исследуемого энергоблока, использованные компьютерные программы);
- результатов детерминистических исследований, проводившихся в рамках ВАБ-1 (включая толкование результатов детерминистических исследований).

Модели аварийных последовательностей представляются для каждого ИС (группы ИС), возможного в каждой из групп ЭС.

Приводятся графические изображения моделей аварийных последовательностей, описание отдельных аварийных последовательностей без повреждения и с повреждением твэлов (с указанием, если это возможно, размеров повреждения) и описание аварийных последовательностей, для которых требуется разработка дополнительных моделей.

Глава 7. Анализ надежности систем

Приводится информация о результатах выполнения задачи «Анализ надежности систем».

Приводятся описания отдельных систем и ссылки на источники информации, включая описание:

- назначения систем;
- функций и конфигураций систем, необходимых для выполнения этих функций;
- режимов работы систем при нормальной эксплуатации и при возникновении ИС;
- состава системы и ее связей с другими системами;
- действий персонала по управлению и обслуживанию систем;
- технологических или структурных схем систем.

Представляются описания структурно-логических моделей каждой системы, включая:

- упрощенные схемы анализируемой системы;
- основные и специфические допущения, принятые при моделировании системы;
- описание конфигураций системы, принятых при моделировании функций системы;
- перечень структурно-логических моделей надежности для рассматриваемой системы; в приложении к основному отчету по ВАБ-1 приводятся графические изображения логических моделей надежности систем;
- перечень элементов, рассматриваемых в структурно-логической модели надежности системы, с описанием последствий всех видов отказов этих элементов в отношении влияния на ее работоспособность;
- описание основных элементов каждой структурно-логической модели надежности систем (логических операторов включения (исключения) частей этой модели в различные аварийные последовательности, базисных событий, относящихся к действиям оператора, базисных событий, относящихся к отказам общего вида, «специальных событий», «условных событий»);
- описание способов моделирования зависимых отказов и отказов общего вида;
- описание способов моделирования надежности оборудования и систем с учетом периодических проверок работоспособности, технического обслуживания и ремонта элементов системы.

Глава 8. Анализ надежности персонала

Приводится информация о результатах выполнения задачи «Анализ надежности персонала», включая:

- обоснование выбора и описание методов обработки информации, используемой для анализа надёжности персонала;
- принятые допущения и ограничения анализа для каждого базисного события, соответствующего действиям персонала;
- полученные оценки вероятности ошибок персонала и соответствующие показатели неопределенности;

- 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;
- описание моделей надежности персонала и результаты применения этих моделей для каждого действия персонала, включенного в упомянутые выше перечни, в том числе анализы их применимости, результаты тестов, интервью и их обработки, диаграммы, таблицы и другая информация;
- результаты анализа зависимостей между несколькими (двумя и более) действиями персонала, входящими в отдельные аварийные последовательности или в минимальные сечения;
- значения вероятностей ошибочных действий персонала, включенных в упомянутые выше перечни, в том числе значения вероятностей зависимых ошибочных действий.

Глава 9. Анализ данных

Приводится описание базы данных по частотам ИС, показателям надежности оборудования, характеристикам неготовности оборудования из-за испытаний, технического обслуживания и ремонта и вероятностям или параметрам моделей отказов общего вида, использованной при разработке модели ВАБ-1, включая:

- специфические данные и их источники;
- подходы, использованные для классификации событий отказов оборудования (элементов модели ВАБ), и результаты этой классификации;
- характеристика исходного статистического материала (число событий, полная наработка, наработка на отказ и другие характеристики);
- обобщенные данные и их источники;
- методы и компьютерные программы, использованные 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 общего вида.

Глава 10. Разработка логико-вероятностной модели энергоблока атомной станции

Представляется информация о методах, использованных при разработке логико-вероятностной модели (моделей) энергоблока АС, об основных составляющих логико-вероятностной модели ВАБ и о результатах выполнения этой задачи.

Приводится описание методологии построения логико-вероятностной модели энергоблока АС (логико-вероятностной модели, включающей модели аварийных последовательностей, модели надежности систем, модели действий персонала, значения вероятностей (частот) ИС, показатели надежности оборудова-

ния, показатели надежности персонала, вероятности или параметры моделей отказов общего вида).

Приводятся описания:

- моделируемых функций, использованных для взаимосвязи моделей аварийных последовательностей и моделей систем;
- значений логических операторов включения (исключения) различных частей моделей надежности систем в моделируемые функции для аварийных последовательностей;
- подхода, использованного для исключения логических петель и взаимоисключающих событий;
- способа учета в модели зависимостей между действиями персонала.
- способов учета в модели разного рода зависимостей, выявленных при выполнении задач ВАБ-1.

Глава 11. Расчет вероятностных показателей безопасности энергоблока атомной станции

Представляется информация о результатах выполнения расчетов.

Приводится описание процесса расчета вероятностных показателей безопасности, включая описание:

- общих допущений, использованных в процессе расчетов вероятностей реализации аварийных последовательностей;
- принятых ограничений (порог отсечения по вероятности, порог отсечения незначимых минимальных сечений);
- наборов логических операторов включения (исключения) при проведении расчетов по каждой модели аварийных последовательностей и каждой аварийной последовательности этой модели;
- каждой стадии расчета.

Приводится описание процедуры анализа неопределенности, чувствительности и значимости, включая:

- общие допущения, принятые при анализе неопределенности, чувствительности и значимости;
- 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.

Приводятся результаты выполнения количественных расчетов:

- вероятность повреждения твэлов для каждого радиоактивного источника;
- результаты оценок неопределенности и чувствительности для вероятности повреждения топлива;
- перечень минимальных сечений, вклад которых в вероятность повреждения твэлов составляет более 0,1%.

Результаты количественных расчетов представляются отдельно для каждой группы ЭС и для всех групп ЭС.

Глава 12. Оценка уровня безопасности энергоблока атомной станции и анализ результатов вероятностного анализа безопасности уровня 1

Представляется информация о наиболее значимых аварийных последовательностях, выявленных в результате количественного анализа:

- перечень наиболее значимых аварийных последовательностей в порядке убывания величины их вклада в вероятность небезопасного конечного состояния;
- сведения о каждой из наиболее значимых аварийных последовательностей, включая:
  - ИС;
  - события отказов систем, входящие в состав наиболее значимых аварийных последовательностей;
  - события отказов элементов систем, вносящие основной вклад в отказ каждой системы;
  - суммарную оцененную вероятность повреждения твэлов и относительный вклад в нее каждой значимой аварийной последовательности;
  - значимые минимальные сечения (не менее 100) и вероятности их реализации.

Результаты представляются отдельно для каждой группы ЭС и для всех групп ЭС.

Приводится информация, полученная при анализе значимости и совокупной значимости для следующих вкладчиков в вероятность повреждения твэлов:

- ЭС и/или групп ЭС;
- ИС и/или групп ИС;
- минимальных сечений;
- элементов систем;
- отказов оборудования из-за ремонта и техобслуживания;
- ошибок персонала;
- систем.

Представляются описание и анализ результатов неопределенности и чувствительности, в том числе:

- основные источники неопределенности, связанные с каждой значимой аварийной последовательностью;
- сведения о влиянии элементов модели ВАБ-1 и допущений моделирования на вероятность повреждения твэлов;
- оценки влияния неопределенностей на результаты ВАБ-1.

Излагаются выводы, полученные на основе анализа результатов ВАБ-1, и приводятся:

- оценка уровня безопасности энергоблока АС;
- перечень выявленных наиболее значимых факторов, существенно влияющих на вероятность повреждения твэлов;
- оценка влияния неопределенностей на выводы и рекомендации ВАБ-1;
- оценка достижения целей, поставленных в ВАБ-1.

Представляются рекомендации по повышению уровня безопасности энергоблока АС, разработанные на основе результатов ВАБ-1, и результаты оценок влияния этих рекомендаций на вероятность повреждения твэлов.

gost.e-ecolog.ru