

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОПЛИВНОГО БАССЕЙНА АЭС С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА RISKSPECTRUM

В. А. Левенков

Белорусский государственный университет, г. Минск;

levenkov_99@mail.ru;

науч. рук. – Э. А. Михалычева, ст. науч. сотр.

В работе рассматриваются вопросы, связанные с проведением вероятностного анализа систем безопасности АЭС и методов повышения их надежности во всех эксплуатационных состояниях станции. Для оценки надежности системы выполнен анализ отказов элементов системы и их последствий – FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). Вероятностные расчеты проведены с помощью программного средства RiskSpectrum. Результаты исследования представлены в виде деревьев отказов.

Ключевые слова: бассейн выдержки АЭС; анализ надежности; ВАБ; RiskSpectrum.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность АЭС является безусловным приоритетом при проектировании и эксплуатации атомных станций.

Безопасность АС (атомной станции) (ядерная и радиационная безопасность АС) [1] – свойство АС обеспечивать надежную защиту персонала, населения и окружающей среды от недопустимого в соответствии с нормами и правилами в области использования атомной энергии радиационного воздействия.

Анализ безопасности – это аналитическая оценка физических явлений, возникающих на АЭС, которая позволяет продемонстрировать выполнение требований по безопасности в отношении всех постулируемых исходных событий, которые могут возникать в широком диапазоне эксплуатационных состояний установки, включая разные уровни эксплуатационной готовности систем безопасности.

Целью данной работы является: проведение анализа надежности системы охлаждения бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива, построение деревьев отказов для моделирования функций системы при работе энергоблока на мощности и в режимах останова с учетом внутренних инициирующих событий.

ОБЪЕМ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ

Вероятностный анализ безопасности атомных электрических станций является одним из основных инструментов (наряду с детерминистским анализом) оценки безопасности АЭС. Используя накопленные статистические данные по дефектам оборудования и нарушениям в работе АЭС, ВАБ позволяет на основании вероятностных расчетов оценить уровень безопасности эксплуатируемых и строящихся атомных станций[2]. Любое решение по безопасности атомной станции принимается на основании оценки влияния его последствий на уровень безопасности АЭС.

В процессе выполнения ВАБ производится оценка параметров надежности оборудования систем безопасности, и систем важных для безопасности [3]. В результате выполнения количественной оценки аварийных последовательностей, характерных для данного блока исходных событий аварии, средствами ВАБ выявляются наиболее значимые для безопасности элементы оборудования, которые могут быть или заменены, или усовершенствованы.

Схематично объем исследований ВАБ представлен на рисунке 1.



Рис. 1 – Объем исследования вероятностного анализа безопасности

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОПЛИВНОГО БАСЕЙНА

Система охлаждения топливного бассейна (ФАК) предназначена для выполнения следующих функций: отвода остаточных тепловыделений от отработавших кассет, находящихся в топливном бассейне во всех проектных режимах эксплуатации, а также в режимах проектных и запроектных аварий; создания радиационно-защитного слоя над кассетами; операций по перегрузке-выгрузке топлива.

Вероятностная оценка надежности системы ФАК заключалась в количественном определении отказов системы при выполнении заданных функций методом моделирования деревьев отказов с использованием программного комплекса RiskSpectrum.

Для оценки надежности системы выполнен анализ отказов элементов системы и их последствий – FMEA, в результате которого были определены все отказы элементов топливного бассейна (насосов, обратных клапанов, электроприводных и ремонтных задвижек, элементов теплообменников) для всех функций, выполняемых системой, и всех эксплуатационных состояний.

Функция отвода тепла от бассейна выдержки считалась не выполненной при отказе двух каналов системы. Время необходимой работы системы составляло 24 ч. Дерево отказов системы ФАК при выполнении функции отвода тепла приведено на рисунке 2.

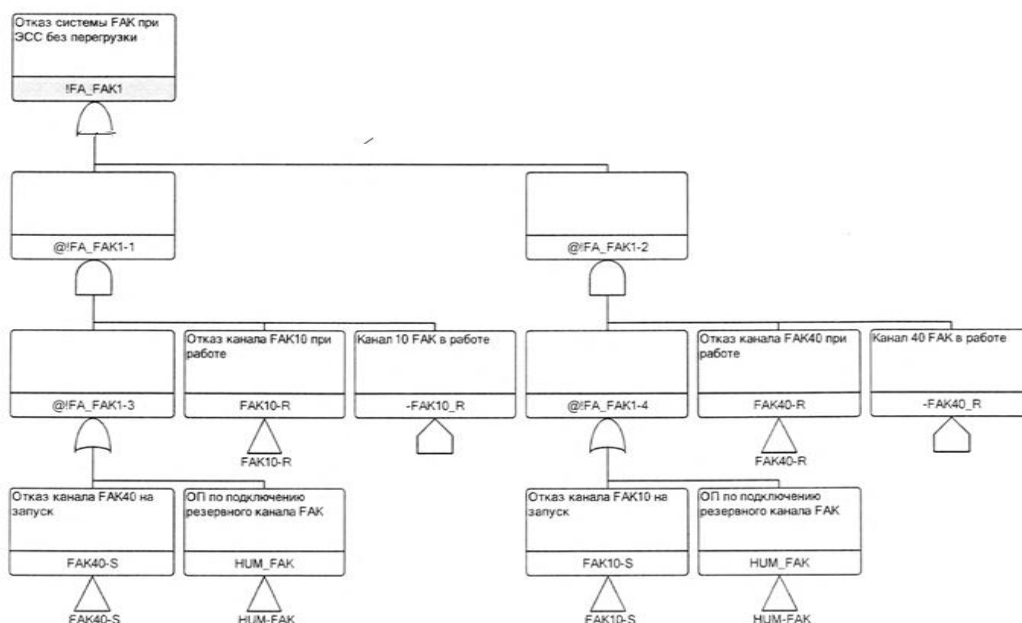


Рис. 2 – Дерево отказов системы охлаждения бассейна выдержки при выполнении функции отвода тепла

Проведен анализ значимости базисных событий (отказов системы) по показателям Fussel-Vessely по формуле

$$FV = [F(X) - F(0)]/F(X),$$

где $F(X)$ – это вероятность отказа системы при номинальной вероятности базисного события, а $F(0)$ – в предположении, что событие не произошло, а также по показателям Birnbaum по формуле

$$B(x) = \frac{d}{dx} P(x), \text{ или } B(x) = F(1) - F(0),$$

где $F(1)$ – это вероятность отказа системы в предположении, что событие реализовалось, а $F(0)$ – в предположении, что событие не произошло.

Анализ значимости позволяет определить наиболее «слабые» места проекта системы и те элементы, проведенные мероприятия по улучшению надежности которых позволят с наименьшими затратами повысить надежность всей системы в целом. Наиболее значимыми отказами системы ФАК являются вместе с отказами основных элементов топливного бассейна (насосы, арматура) отказы обеспечивающих систем, в том числе систем охлаждения, вентиляции и кондиционирования.

Среднее значение вероятности отказа охлаждения топливного бассейна для эксплуатационных состояний станции без перегрузки топлива составляет $4,97E-06$, с частичной или полной перегрузкой топлива – $5,74E-03$, что показывает достаточную надежность работы системы бассейна выдержки.

При выполнении вероятностных расчетов был проведен анализ вкладов доминирующих минимальных сечений при работе канала системы ФАК, который показал существенное влияние на надежность системы отказов вспомогательных систем – отказ системы вентиляции на запуск (базисное событие KLG11AN004FAS) составляет 33,79 %, отказ отвода тепла системой промконтура отвода тепла ответственных потребителей (базисное событие KAA14AA202VWH), соответственно, составляет 16,10 %. При этом отказ насоса (основного элемента системы ФАК) в работе (базисное событие FAK10AP001PMR) составляет 2,52%.

По результатам проведенной работы были сделаны следующие рекомендации:

- для повышения надежности системы охлаждения топливного бассейна АЭС необходимо рассмотреть изменение режимов тестирования элементов системы путем переключения каналов из режима ожидания в режим работы не реже 1 раза в месяц;
- повысить надежность обеспечивающих систем путем резервирования их каналов и изменения режимов тестирования.

Библиографические ссылки

1. Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции: НП-095-15. – Введ. 12.08.2015. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ, 2015. – 10 с.
2. Рекомендации по разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 блока атомной станции для внутренних исходных событий: Руководство по безопасности РБ-024-19 – Введ. 17.07.2019. – М.: Федеральная служба по атомному надзору РФ, 2019. – 67с.
3. Острейковский В.А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ / В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев. – Москва: Физматлит, 2008. – 352 с.