

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЗОНЫ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВЭР-1000

Минин Т. И., Клостер С. А.

Научный руководитель: Наймушин А. Г., к.ф.-м.н., ст. преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: t-min@mail.ru

В последние годы отметилась тенденция к усилению радиофобии в обществе. Это не удивительно, поскольку за последние 30 лет произошло 2 аварии, связанные с использованием ядерной энергии, получивших седьмой уровень по шкале INES [1].

Недавняя авария на японской АЭС Фукусима-1 привлекла внимание общественности к безопасности энергетических ядерных установок. Произошло маловероятное событие — отказ почти всех систем обеспечивающих безопасность реактора. Такое событие произошло по причине стихийного бедствия, не предусмотренного конструкторами на стадии проектирования. Россия тоже имеет печальный опыт — Чернобыльская катастрофа, произошедшая в 1986 г., одной из причин которой стал неучтенный конструкторами «концевой эффект».

Следует отметить, что почти все аварии, случившиеся на ядерных объектах, произошли по причине неучтенных факторов. Если есть хоть малейшая вероятность возникновения опасного фактора, должны быть приняты все меры для его нивелирования, т.к. ядерная энергетика — ответственнейшая область деятельности человека и малейшая ошибка может привести к катастрофическим последствиям.

В России и за рубежом существует много методов оценки безопасности ядерных объектов. Одним из таких методов является вероятностный анализ. Главным его преимуществом является то, что он позволяет оценить не только вероятность отказа какого либо узла, но и вероятность прохождения цепи событий приводящих к нежелательным инцидентам.

В настоящей работе был проведен анализ вероятности отказа системы аварийного охлаждения реакторной установки ВВЭР-1000 методом деревьев событий.

Вероятностный анализ безопасности производится на стадии раннего проектирования при осуществлении детерминистских расчетов, позволяющих уточнить возможные сценарии развития аварий, а также оценить последствия аварий.

Базой для вероятностного анализа безопасности является построение «дерева событий», т.е. выполнение системного анализа того, что последует за исходным событием (ИС). Порядок проведения ВАБ предусматривает [2]:

- выбор и классификацию исходных событий, оценку их частоты;
- использование объективных данных о надежности (безотказности) элементов объекта в

рассматриваемых сценариях того, что последует за ИС;

- анализ гипотетических путей развития аварии после каждого ИС;
- расчет вероятностей реализации аварийных последовательностей;
- классификацию конечных состояний и расчет риска.

В качестве рассматриваемого реактора взят типовой реактор ВВЭР-1000 проекта В-320, как наиболее распространенная установка сооружаемая госкорпорацией «Росатом».

На этапе анализа исходных событий происходит составление полного перечня возможных событий, потенциально опасных с точки зрения формирования ущерба, превышающего допустимый, и выделение из этого перечня группы ИС для дальнейшего моделирования путем построения «дерева событий». Выполнение этого шага необходимо для сокращения перебора возможных аварийных сценариев.

При выполнении моделирования описываются все функциональные и системные деревья отказов, охваченные в аварийных последовательностях (деревьях событий). При построении системных деревьев отказов должны быть учтены все обеспечивающие системы, которые необходимы для выполнения функций безопасности, возложенных на систему.

Во всех случаях, где в вероятностной модели предусмотрено вмешательство персонала, должны быть представлены и описаны деревья отказов для персонала и все действия/операции, на основании которых они построены. Эти события, связанные с восстановлением функций оператором, как и отказы по общей причине, должны быть добавлены в деревья отказов на заключительном этапе в конечном итоге [3].

Последний этап качественного анализа надежности систем безопасности состоит в представлении условия невыполнения функций системы, в виде так называемого множества минимальных сечений (МС).

Системы безопасности спроектированы, в основном, с учетом принципов резервирования и независимого отказа. Они состоят, как правило, из 3-х независимых каналов, имеющих собственные системы управления и обеспечивающие системы. Исключения составляют системы, не имеющие зависимых от исходных событий отказов. Для них выбрана кратность резервирования, равная единице [4].

Система аварийного охлаждения предназначена для расхолаживания активной зоны реактора при разгерметизации первого контура, а также для расхолаживания и отвода остаточных тепловыделений активной зоны во время плановой или аварийной «холодной» остановки.

В настоящей работе для возможности ВАБ была использована расчетная программа Vab 2.0, адаптированная под современные операционные системы.

Таким образом, получено 20 МС, из которых 16 МС содержат по 1-му отказу и 4 МС – два. В таблице 1 приведен перечень общих исходных данных.

Таблица 1 — Временные интервалы функционирования САОЗ ВД

Наименование	Символ	Значение
Длительность режима ожидания	T	10000
Длительность работы во время аварии	T _p	1440
Число параллельных каналов в системе	M	1
Периодичность опробования одного канала	T _n	720
Сдвиг по фазе моментов опробования одного канала	Φ _n	0
Продолжительность контроля канала	T _k	6
Допустимое время ремонта канала	T _d	72

В результате, было выполнено описание основных и вспомогательных систем безопасности АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. Определено назначение и функционирование оборудования этих систем. Построены деревья отказов для каналов подсистем САОЗ ВД и САОЗ НД и определены минимальные сечения отказа данных подсистем.

Рассчитанная вероятность отказа канала САОЗ ВД не превышает 0,015 год⁻¹, что отвечает требованиям с условием того, что система имеет кратность резервирования 2;

Надежность оборудования системы САОЗ, а также исследование влияния исходных данных на показатели надежности этой системы показывают, что наиболее влияющие события — отказ насосов с электроприводом.

Установлено, что отказы насосов происходят по двум причинам:

- повреждение подшипников;
- повреждение торцевых уплотнений насоса.

Показано, что при изменении интенсивности отказа элементов в 10 раз, как в сторону снижения, так и в сторону увеличения, большинство элементов слабо влияют на ВНФ канала. Однако при увеличении интенсивности отказа в 10 раз существенно увеличивается вклад в ВНФ таких событий, как отказ обратных клапанов на открытие, причем наиболее существенный вклад по-прежнему вносит отказ насоса.

Таблица 2 — Результат расчета отказа канала системы САОЗ ВД

Номер МС	Минимальные сечения	Вероятность реализации МС
1	x1n	8,7E-4
2	x2n.x4n	8,9E-6
3	x2n.x5n	8,9E-6
4	x3n.x4n	8,9E-6
5	x3n.x5n	8,9E-6
6	x6k2	4,1E-5
7	x7n	8,7E-4
8	x8d	1,6E-3
9	x8p1	4,7E-3
10	x8r1	3,0E-3
11	x9k1.x10k1	1,3E-7
12	x11k2	3,9E-4
13	x11r2	6,7E-5
14	x12k2	4,1E-5
15	x13n	8,7E-4
16	x14k2	8,6E-5
17	x15n	8,7E-4
18	x16k2	7,2E-5
19	x17k2	3,9E-4
20	x17r2	6,7E-5
21	x18k2	1,8E-4
22	x18r2	2,7E-5
23	x19n.x20n	3,1E-5
24	x21k2	8,6E-5
25	x22r2	1,2E-5
ВНФ канала:		0,0144

Учитывая, что вероятность исходного события с потерей теплоносителя 1-го контура не превышает значения 1,0·10⁻⁴ год⁻¹ для одного реактора, можно сделать вывод, что вероятность запроектной аварии не превысит установленный МАГАТЭ приемлемый риск широкомасштабного загрязнения радионуклидами окружающей среды в результате аварии на АЭС или на другой ядерной установке равный 1,0·10⁻⁶ год⁻¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика расчета показателей надежности систем безопасности АЭС: Учеб. пособие / А.Ю. Токов, В.С. Каёкин: Иван.гос.энерг.ун-т. – Иваново, 1996. – 48 с.
2. Куянджич С. М. Разработка и анализ моделей надежности и безопасности систем. Физмалит. – 2001. – С. 464.
3. Belles R. J. et al. Precursors to potential severe core damage accidents: 1997, A status report //NUREG/CR. – 1998. – Т. 4674. – Р. 157.
4. Клемин А. И. Надежность ядерных энергетических установок: Основы расчета. – Энергоатомиздат, 1987. . – С. 263.