

УДК 621.029

Диагностика и прогнозирование надежности элементов ядерных энергетических установок. Сборник научных трудов № 7 кафедры АСУ. Под общей редакцией профессора, д.т.н. В.А.Острейковского.
– Обнинск, ИАТЭ, 1991, 103 с.

Г.В. Токмачев (ВГНИАКИ "Атомэнергопроект" г.Москва)

ПРОБЛЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОБ ОТКАЗАХ ПО
ОБЩЕЙ ПРИЧИНЕ

Вероятностные анализы безопасности атомных станций (ВАБ АС), проведенные в ряде стран показали, что отказы по общей причине вносят значительный, а иногда доминирующий (до 90%) вклад в частоту тяжелого разрушения активной зоны реактора и в то же время являются одним из основных источников неопределенности ее оценки [1]. Признано, что наибольшую неопределенность в результате моделирования таких отказов вносят исходные данные [2], основная проблема сбора и обработки которых заключается в их редкости, а также в сильной зависимости от конкретных особенностей проекта АЭС, условий изготовления, монтажа и эксплуатации оборудования. Например, параметры моделей отказов по общей причине по ряду типов зарубежного оборудования имеют порядок 10^{-7} и 10^{-8} 1/час [2], поэтому получение их достоверных статистических оценок по всему оборудованию АЭС с реакторами ВВЭР, имеющими на конец 1990 года суммарное время промышленной эксплуатации около 60 лет, пока нереально.

Это порождает стремление использовать в отечественной практике непосредственно зарубежные оценки параметров, что на наш взгляд может приводить к ошибочным результатам по следующим причинам:

1. Из-за различий в схемах, конструктивных и компоновочных решениях отечественных и зарубежных АЭС. Так, например, 4 из 11 приведенных в [3] событий связаны с наличием общего всасывающего коллектора насосов, которого нет в системах безопасности АЭС с реакторами ВВЭР-1000;

2. Из-за учета в зарубежных оценках параметров отказов, вызванных общими элементами, управляющими или обеспечивающими системами для нескольких рассматриваемых единиц оборудования;

3. Из-за неизвестного подхода к классификации зависимых событий, в том числе к обработке неклассифицированных зависимостей. Так, в [4] из 200 событий по арматуре с электроприводом только 13 было неклассифицированных, но оценка β -фактора менялась от 0,029 (все неклассифицированные события независимые) до 0,117 (все зависимые);

4. Из-за неизвестной кратности резервирования систем, по которым получены оценки для некоторых моделей;

5. Из-за различных стратегий проверок работоспособности резервируемых элементов. В [5] показано, что неверное предположение о стратегии проверок (со сдвигом или без сдвига моментов контроля) каналов систем безопасности изменяет оценку параметра в несколько раз;

6. Из-за проблем, существующих у зарубежных исследователей, с полной информацией по независимым отказам, которые труднее регистрировать, чем отказы по общей причине, с помощью существующих систем сбора информации [5, 6]. Поэтому, относительные коэффициенты ряда моделей β -фактора, греческих букв [1] и тому подобное имеют неизвестную степень консерватизма. Дополнительный консерватизм вносит не определенный точно объем наблюдений (число успешных запусков или времени работы). В то же время применяемая процедура просеивания и исключения из рассмотрения зависимых событий [5] может привести к недооценке этих относительных коэффициентов;

7. Из-за различий в эксплуатационных процедурах и условиях эксплуатации на различных АЭС и недостатка информации, позволяющей судить о возможности аналогичных событий на отечественных АЭС;

8. Из-за не определенных четко границ рассматриваемого оборудования.

9. Из-за неопределенности способа учета корреляции между отказами по общей причине и исходным событием аварии, что может привести как к недооценке значений параметров, так и к многократному учету одних и тех же отказов [7].

Кроме того, зачастую не оцениваются связанная с объемом выборки, статистическая неопределенность и закон априорного распределения.

Очевидно, что при проведении вероятностных анализов безопасности АЭС необходимо ориентироваться на отечественные исходные данные, и только в случае их недостаточной представительности использовать зарубежную информацию в качестве априорной. При этом в силу большой субъективности зарубежных оценок следует решать проблему их адекватного переноса на отечественные объекты, для чего использовать не оценки параметров моделей, а первичную статистическую информацию по событиям множественных отказов на зарубежных АЭС и проводить их просеивание (отбор) применительно к рассматриваемой АЭС.

Рассмотрим потенциальные источники информации по АЭС отечественного производства. Базы данных по АЭС в СССР - ССОИИ, эксплуатируемая во ВНИИАЭС, и по АЭС в странах - членах СЭВ - ИСКО АС, эксплуатируемая в МХД "Интератомэнерго", изначально были ориентированы на сбор данных по отказам оборудования нормальной эксплуатации. Сбор достоверной информации по системам безопасности в них пока не налажен, а отказы по общей причине не выявляются вовсе.

Информационная система по нарушениям в работе АС, эксплуатируемая во ВНИИАЭС с 1983 года и с 1989 года в НТЦ БАЭ ГПАН, содержит события множественных отказов систем безопасности с достаточно подробным их описанием. К недостаткам системы следует отнести отсутствие программ поиска событий множественных отказов, отсутствие достоверной информации по единичным отказам, а также, как показывает практика, пока не все события с зависимыми отказами попадают в информационную систему или недостаточно четко идентифицируются. Поэтому использование этой системы для сбора информации по отказам по общей причине пока проблематично.

Для анализа конкретной АЭС наиболее приемлемым источником данных является эксплуатационная документация (оперативные журналы, журналы испытаний, дефектов, состояний, акт испытаний и расследования нарушений). Необходимая для анализа отказов по общим причинам информация может собираться как службами надежности АЭС, так и специализированными группами сторонних организаций.

Номенклатура собранных первичных данных должна быть достаточной для того, чтобы избежать недостатков, присущих зарубежной информации. На наш взгляд она должна включать три блока данных: характеристику событий множественных отказов, объема наблюдения, а также отказавшего оборудования и условий его эксплуатации.

Для характеристики события множественного отказа необходимо оперативное обозначение и наименование отказавшего оборудования, дата и время обнаружения каждого из отказов в событии, вид отказа (на открытие, на закрытие и т.п.), часто отказавших элементов, число обследованных (запускавшихся, работавших) элементов и общее число элементов в группе (например, однотипных), описание события, его причина (недостаток проекта, дефект изготовления, монтажа, ремонта, наладки или технического обслуживания, ошибочные оперативные действия, функциональное воздействие других элементов или влияние окружающей среды) с предположением о наличии зависимости, режим эксплуатации оборудования (ожидание, испытание, реальное требование, работа) и энергоблока в момент обнаружения отказа, способ

его обнаружения, длительность восстановления оборудования и принятые корректирующие меры. Следует отметить, что, как правило, отказы по общей причине происходят у однотипных активных элементов (насосы, дизель-генераторы, вентиляторы, арматура) и при неодновременной проверке оборудования, эксплуатирующегося в режиме ожидания, будут проявляться также неодновременно.

Объем наблюдения должен характеризоваться наработкой в режиме ожидания и в режиме выполнения функций, а также числом пусков (срабатываний) с выполнением числа и кратности реальных требований по всему наблюдаемому оборудованию (в том числе по оборудованию, не имевшему множественных отказов). Также должны быть четко определены границы оборудования.

Дополнительно необходима информация о типе отказавшего оборудования, его заводе-изготовителе, компоновке, описание эксплуатационных процедур, с указанием стратегии, периодичности и алгоритма технического обслуживания и испытаний.

Вид параметрической модели, используемой для анализа отказов по общей причине, также предъявляет специфические требования к базе данных. Для моделей β - и α -факторов, греческих букв, кроме разделения событий множественных отказов на независимые и зависимые*) требуется статистическая информация по единичным отказам.

Для биномиальной модели дополнительно необходимо классифицировать события отказа всех элементов по общей причине на летальные и нелетальные и выявить единичные потенциально зависимые нелетальные отказы.

Весь массив множественных отказов, классифицированные как зависимые, должен просеиваться в соответствии со следующими правилами [6]:

1) функциональные неготовности, вызванные отказами других элементов, исключаются из рассмотрения, так как должны моделироваться явно;

2) если событие возникло, было выявлено и устранено в период пуска-наладочных работ или планово-предупредительного ремонта энергоблока, то оно также далее не учитывается;

3) если второй отказ в событии возник после устранения первого, то оба они рассматриваются как независимые;

ж) - в сомнительных случаях возможно использование весовых коэффициентов, отражающих степень уверенности исследователя в зависимости события.

4) события, относящиеся к повреждениям (например, течь через уплотнения), которые не нарушают критерии выполнения функций элемента, могут быть исключены;

5) события, виды отказов элементов при которых не влияют на выполнение рассматриваемых функций безопасности, не учитываются.

Заключительным этапом обработки исходной информации перед оценкой параметров моделей отказов по общей причине является проектирование на модулируемый объект событий в системах с другой кратностью резервирования. Эта процедура с применением так называемого вектора воздействия подробно изложена в [5]. Следует отметить, что этот этап необходим не только в случае использования априорной информации по системам с другой кратностью резервирования, но и при наличии отказов по общей причине после возникновения требования на запуск не всех каналов системы (например, отказ двух каналов трехканальной системы из двух запущавшихся).

Оценка параметров моделей, как правило, проводится методом максимального правдоподобия. В случае использования априорной информации обычно применяется байесовский метод [2].

Анализ состояния проблемы создания базы данных по отказам по общей причине для вероятностных анализов безопасности АЭС позволяет сделать следующие выводы:

1. В настоящее время в СССР не ведется целенаправленный сбор данных по таким видам отказов.

2. Использование зарубежных оценок приводит к значительной неопределенности результатов.

3. Наиболее достоверную информацию по отказам по общей причине можно получить, организовав ее сбор непосредственно на АЭС по эксплуатационной документации.

4. В статье предложен алгоритм сбора и обработки такой информации.

Литература

1. Токмачев Г.В. Учет зависимых отказов оборудования в вероятностных анализах безопасности АЭС.- Атомная техника за рубежом, 1990,- №3, С.10-16.

2. Amendola A. "Common cause failures analysis in reliability and risk assessment".-In: Reliability Engng Proc. of Joint Research Centre ISPRA. Dordrecht. Kluwer Publisher, 1988, N 2.

3. Fleming K. N., Mosleh A., Deremer R. K. "A systematic procedure for the incorporation of common cause events into risk and reliability models.-Nuclear Engineering and Design, 1986, V.93, p.245-273.
4. Fleming K. N. "On the analysis of dependent failures in risk assessment and reliability evaluation".-Nuclear Safety, 1983, V.24, N 5.
5. "Procedures for treating common cause failures in safety and reliability studies. Volume 1."-NUREG/CR-4780, USA, Febr. 1988.
6. Poucet A., Amendola A., Cacciabue P. C. "CCF-RBE. Common cause failures reliability benchmark exercise. Final report." EUR 11054 EN. JRS ISPRA. Apr. 1987.
7. Ballard G. M. "Precursor analysis - A way of testing safety analysis?"-Reliability Engineering and System Safety, 1990, V.27, N 1, p.77-89.