ДОКЛАД

Расчет показателей надежности оборудования, вероятностей базовых событий с ООП и частот ИСА для ВАБ энергоблока №5 Запорожской АЭС

Семенюк И.А.

В рамках проекта по углубленному анализу безопасности энергоблока №5 Запорожской АЭС, предприятием «Новатор-Киев» выполнялись работы по сбору базы данных по надежности тепломеханического и электротехнического оборудования, оборудования КИПиА и расчету показателей надежности данного оборудования.

Сбор данных по надежности

Сбор эксплуатационных данных по надежности оборудования выполнялся в соответствии с перечнем оборудования, сформированным на основании предварительного перечня, приведенного в руководстве по "Сбору базы данных по надежности". По мере выполнения работы перечень оборудования корректировался в зависимости от изменений, вносимых в базу данных по системам, вследствие чего корректировался сбор данных по оборудованию.
Границы оборудования определялись на основании общепринятых принципов:
–физической целостности оборудования;
–функциональной целостности оборудования;
–достаточности статистических данных;
–учета особенностей моделирования деревьев отказов;
–совместимости с другими базами данных, которые используются как источники обобщенных данных.

Группирование оборудования

Формирование групп оборудования проводилось на основании “Базы данных по системам” с учетом статистических данных по отказам и наработкам оборудования. Для каждого типа оборудования были определены основные критерии, по которым проводилось первоначальное определение групп. Затем были рассмотрены статистические данные по отказам и наработкам, сделаны определенные допущения. В результате выполненных работ по группированию тепломеханического оборудования было сформировано 146 групп, учитывая вид, конструкцию, режим работы, параметры работы (рабочей среды), периодичность опробований/испытаний и типы отказов оборудования.
По электротехническому оборудованию основными принципами группирования служили одинаковая конструкция, номинальные параметры, режим работы, типы отказов и наличие статистических данных. По данному оборудованию было сформировано 38 групп.

Группы оборудования по КИПиА составлялись на основании одинаковой конструкции и наличия статистических данных по надежности. В результате группирования было сформировано 68 групп.

Специфические данные по надежности оборудования энергоблока №5 Запорожской АЭС собирались за период с 1993 по 1997 год.

Данные по отказам были классифицированы в зависимости от рассматриваемого оборудования и режима его работы на различные типы (отказ на запуск, отказ в работе, отказ на открытие, отказ на закрытие, засорение и т.д.).

Источники данных

В качестве источников специфических данных по дефектам оборудования использовались:
1) отчеты о расследовании нарушений, составляемые в соответствии с "Положением о порядке расследования и учета нарушений в работе атомных станций" НД306.205-96;
2) отчеты о расследовании отклонений, составляемые в соответствии с "Положением о порядке расследования и учета отклонений в работе систем и оборудования, подготовленности персонала, применимости процедур на Запорожской АЭС" 00ТС.ПЛ.02Б;
3) журналы дефектов;
4) базы данных по дефектам;
5) база данных по вибросостоянию оборудования.

При сборе данных по неготовности каналов систем из-за технического обслуживания, ремонтов, испытаний использовалась:
1) журналы опробования и вывода в ремонт оборудования систем безопасности;
2) журналы заявок на вывод в ремонт оборудования;

При сборе данных по наработкам оборудования источниками служили:
1) журналы опробования и вывода в ремонт оборудования систем безопасности;
2) журналы заявок на вывод в ремонт оборудования;
3) оперативные журналы;
4) программы испытаний и опробований;
5) инструкции по эксплуатации систем.

Расчет показателей надежности

Номенклатура показателей надежности определялась исходя из возможности восстановления оборудования и режимов работы.

При расчете показателей надежности оборудования принимались допущения об ординарности, стационарности и отсутствии последствия потока отказов. При этом для периодически опробуемого оборудования при выборе номенклатуры показателей надежности принимались следующие допущения:
- после опробования, характеристики оборудования соответствуют характеристикам нового;
- при возникновении отказов оборудования в период между опробованиями, время восстановления оборудования пренебрежимо мало по сравнению со временем между опробованиями.

Расчеты проводились для 5%-го доверительного интервала с использованием нескольких методов расчетов.
Первый метод расчетов – «прямой» расчет показателей надежности, применялся для оборудования, по которому собрана достаточная статистика по специфическим данным о надежности.

Второй метод заключается в расчете показателей надежности по специфическим данным с использованием обобщенных данных по наработкам и отказам оборудования.
Данный метод расчетов применялся в тех случаях, когда специфических данных о наработках и отказах оборудования недостаточно и необходимо использовать обобщенные данные. Расчеты проводились методом Байеса путем комбинирования специфических и обобщенных статистических данных по наработкам и отказам оборудования.
Третий метод – расчет показателей надежности с использованием обобщенных данных по наработкам оборудования и рассчитанных значений показателей надежности.
При использовании данного метода в расчетах показателей надежности оборудования, по которому нет специфических и обобщенных данных об отказах оборудования, но имеются данные по наработкам и рассчитанные значения показателей надежности из обобщенных данных, применялась программа BAYESIAN.xls, разработанная компанией SCIETECH. Данное программное обеспечение позволяет представить априорное непрерывное распределение в дискретной форме с помощью функции правдоподобия в форме биноминального или пуассоновского распределения. В качестве априорного принималось логнормальное распределение. Исходными данными для расчетов были средние значения показателей надежности, взятые из обобщенных данных и фактор ошибки. При этом было сделано допущение о том, что фактор ошибки EF=10, так как в большинстве использованных обобщенных данных имеются только средние значения показателя надежности, и нет рассчитанных значений в 95% и 5% точках доверительного интервала.
Четвертый метод основывается на использовании неинформативного распределения, где консервативно количество отказов принимается равным 0,5. Данный метод расчетов применялся для расчетов показателей надежности оборудования, для которого нет специфических данных по отказам оборудования, а также нет обобщенных данных.

Для расчетов показателей надежности оборудования по первому, второму и четвертому методам специально было разработано программное обеспечение sazan.mdb. Исходными данными для расчетов в данной программе являются:
По первому методу – количество отказов и наработка, полученные по специфическим данным и тип распределения;
По второму методу – количество отказов и наработка, взятые из специфических и обобщенных данных и тип распределения по обобщенным данным;
По четвертому методу – наработка, полученная из специфических данных.

Для отказов оборудования типа “невыполнение функции”, “отказ в работе”, “отказ на изменение положения”, “отказ на сохранение положения”, “ложная работа”, “засорение”, “течь”, “разрыв” рассчитывались значения интенсивности отказов $\lambda_{ср}$. Для оборудования с отказами “отказ на запуск”, “отказ на открытие", " отказ на включение”, “отказ на закрытие", "отказ на отключение” рассчитывались значения вероятности отказа на требование - $P_{тр}$.

Тип распределения для расчета показателей надежности выбирался, исходя из следующих соображений:

1) для оборудования, у которого наработка выражена в часах и имеются специфические данные по отказам и наработкам, было принято экспоненциальное распределение;

2) для оборудования, у которого наработка выражена в требованиях (дискретные значения) и имеются специфические данные по отказам и наработкам, было принято биномиальное распределение;

3) для оборудования, по которому недостаточно специфических данных по наработкам и отказам, выполнялась байесовская оценка. В этом случае, для оборудования, у которого наработка выражена в часах априорным было принято неинформативное распределение, апостериорным – гамма распределение. Для расчета показателей надежности оборудования, у которого наработка выражена в требованиях на срабатывание, априорным распределением было принято также неинформативное распределение, апостериорным - β-распределение.

4) для оборудования, по которому нет специфических и обобщенных данных по отказам оборудования, но имеются значения показателей надежности, взятые из обобщенных данных, применялось логарифмически нормальное распределение как априорное и дискретное распределение как апостериорное;

5) для оборудования, по которому отсутствуют специфические и обобщенные данные по отказам оборудования, применялось неинформативное распределение в качестве априорного. Апостериорными распределениями были приняты гамма-распределение и β-распределение в соответствии со случаями, описанными в п.3 данного раздела.

Для использования полученных результатов расчетов при построении деревьев отказов в программе SAPHIRE были рассчитаны параметры распределений.

Источниками обобщенных данных для расчетов служили (приведено в порядке использования, источники 1, 2 и 3 имеют одинаковый рейтинг использования, соответственно, для тепломеханического оборудования (1) и КИПиА (2,3)):

1) Оценка показателей надежности элементов систем безопасности реакторных установок В-320 блоков 1,2,3,4,5 Запорожской АЭС по опыту эксплуатации. 2.05-ОТ-065-96-ЗПР. ОКБ “Гидропресс”.

2) Реконструкция АСУ ТП АЭС ЭБ №3 ЗАЭС. Проектная оценка надежности системы. ВЯИЦ. 421457.116 Б1 (210014.00003). Хартрон, 1996 г.

3) Анализ надежности управляющих систем безопасности, реализованных на средствах УКТС. Разработка технических решений и мероприятий по совершенствованию УКТС и оптимизации периодичности и норм технического обслуживания. Отчет по НИР. ВНИИАЭС, 1990 г.

4) Итоговый отчет о научно-исследовательской работе. Сбор и обработка эксплуатационных данных по исходным событиям аварий (ИСА) и надежности СБ энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 для использования при анализа событий предшественников аварий. Тема 6.1.15. плана НИОКР ГНТЦ ЯРБ на 1996 г.

5) Оценка показателей надежности оборудования систем важных для безопасности АЭС с реактором ВВЭР-440. Новатор-Киев. 1996 г.

6) Оценка показателей надежности оборудования систем безопасности АЭС с реактором ВВЭР-440. Показатели надежности оборудования систем безопасности 1-го и 2-го блоков Ровенской АЭС. Новатор-Киев. 1995 г.

7) IAEA TECDOC-478 “Component Reliability Data for use in PSA”, Vienna, 1988.

Расчет неготовности оборудования из-за планового (непланового) техобслуживания, ремонта и испытаний выполнялся для каналов систем по данным суммарного времени ТО, ремонтов и испытаний.

Анализ отказов по общим причинам

Сбор и обработка данных для проведения анализа по ООП выполнялись в следующей последовательности:

1) Определение групп оборудования, для которых моделируются отказы по общей причине.
2) Выбор расчетной модели ООП для использования в деревьях отказов.
3) Анализ станционных и обобщенных данных.
4) Расчет значений ООП с использованием обобщенных данных.

На первом этапе анализа отказов по ООП вероятности базовых событий с отказами по общим причинам определялись с использованием методологии β-фактора.

Для выявления базовых событий, которые являются наиболее значимыми вкладчиками в суммарную частоту плавления активной зоны, выполнялся анализ значимости по Фусселю-Весели. В результате, базовые события с уровнем значимости более 0,01 рассматривались как доминантные.

Для групп компонентов с ООП, которые определены как значимые, выполнялся более детальный анализ с использованием модели множественных греческих букв (МГБ). Расчеты выполнялись для групп, размером до 8 элементов. и соответствующей конфигурации ООП (отказ k элементов из m элементов).

Для групп оборудования, по которому в анализе надежности рассчитывались временные показатели надежности (интенсивность отказов), выполнялся перерасчет в вероятность отказа формуле экспоненциального закона распределения.

Проведенный анализ станционных данных по отказам оборудования энергоблока №5 не выявил отказов по общим причинам по оборудованию, составляющего доминантные группы. Поэтому для расчета вероятностей базовых событий с ООП использовались обобщенные данные по аналогичному оборудованию.

В качестве источников обобщенных данных использовались:

1) NUREG/CR-5497 “Common-Cause Failure Parameter Estimations”;
2) NUREG/CR-5485 “Guidelines on Modeling Common-Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment”.

При использовании обобщенных данных из NUREG/CR-5497 выбирались значения греческих букв для определенной конфигурации отказов k элементов по общей причине из группы размером m.

В тех случаях, когда в указанном источнике обобщенных данных нет аналогичных данных для рассматриваемого оборудования, использовалась таблица псевдообобщенных данных, приведенная в Руководстве NUREG-5485 для модели альфа-фактора. При этом выполнялся перерасчет значений альфа-фактора в модель греческих букв. Тип и параметры распределений для

полученных значений вероятностей базовых событий с ООП выбраны как для независимых отказов соответствующего оборудования.

Для выполнения расчетов вероятностей базовых событий с ООП была разработана программа ccf.mdb, позволяющая производить расчеты вероятностей как по методу МГБ, так и используя модель альфа-фактора. Исходными данными для расчетов являются вероятность независимого отказа для рассматриваемой группы, размер группы, конфигурация k-из-m, значения греческих букв (или альфа-фактора).

Расчет частот ИСА

Для расчетов частот исходных событий, все исходные события были разделены на три класса в зависимости от частоты возникновения:

a) события с высокой частотой возникновения (10^{-01}-10^{01}1/год);

b) события со средней частотой возникновения (10^{-3} -10^{-1} 1/год);

c) события с низкой частотой возникновения (< 10^{-3} 1/год).

Для событий с низкой частотой возникновения (большие и средние течи 1 контура) применялась экспертная оценка, с учетом данных по аналогичным энергоблокам.

Для событий со средней частотой возникновения применялся метод байесовской оценки. В качестве априорной информации использовались обобщенные данные по событиям для АЭС с реакторами ВВЭР-1000.

Для событий с высокой частотой возникновения при наличии специфических данных по ИСА использовался прямой метод расчетов. В случаях, когда специфических данных по ИСА нет или недостаточно, расчеты проводись по методу Байеса с использованием обобщенных данных.
При применении байесовской оценки в тех случаях, когда в источниках обобщенных данных статистические данные по количеству случаев ИСА и периоде наблюдений не приведены значение частоты ИСА принималось равным значению из обобщенных данных. Для расчета верхней и нижней границ доверительного интервала и определения медианного значения, применялся метод расчетов, основанный на определении псевдопараметров (a,b) гамма-распределения частоты.

Для ИСА, при наложении дополнительного отказа, было сделано допущение о том, что данный отказ не является условием для возникновения ИСА. В этом случае, частота ИСА рассчитывалась по формуле полной вероятности независимых событий.
Значения частот дополнительных отказов рассчитывались по данным о надежности оборудования, взятым из БД.

Для групп ИСА, которые состоят из нескольких составляющих, применялась теорема полной аддитивности, согласно которой сумма событий снова является событием.

Для расчета частот ИСА была разработана программа isa.xls, позволяющая выполнять расчеты всеми вышеуказанными методами.

Источниками обобщенных данных служили:

1) IAEA-TECDOC-719 - Defining initiating events for purposes of probabilistic safety assessment. IAEA, 1993.
2) IAEA-TECDOC-749/R – Общие инициирующие события для ВАБ для реакторов типа ВВЭР. МАГАТЭ, 1994г.
3) Report-PSA_WWER_T - Insights from PSA results on the Programmes for Safety Upgrading of WWER NPPs. IAEA, 1995.