

УДК 004.832.2

О.Н. БУТОВА, О.В. ЗЕЛЕНЬКИЙ, В.В. ИНЮШЕВ, М.А. ЯСТРЕБЕНЕЦКИЙ

Государственный НТЦ по ядерной и радиационной безопасности, Украина

НАРУШЕНИЯ В РАБОТЕ АЭС ВСЛЕДСТВИЕ ОТКАЗОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ПО ОБЩЕЙ ПРИЧИНЕ

Рассмотрены методы оценки отказов информационных и управляющих систем (ИУС) по общей причине. Приведены результаты статистической обработки данных о нарушениях в работе АЭС Украины, вызванных неправильным функционированием ИУС вследствие отказа по общей причине за период с 1996 по 2007 годы.

АЭС, нарушения, информационные и управляющие системы, отказы по общей причине

1. Требования нормативных документов Украины

Согласно НП 306.1.02/1.034-2000 [1], под отказами по общей причине (ООП) понимаются отказы важных для безопасности систем (элементов), возникающие вследствие одного отказа, ошибки персонала, внутреннего или внешнего воздействия. Это определение имеет место для различных систем АЭС, включая информационные и управляющие системы (ИУС).

В пункте 5.1.5 этого же нормативного документа имеется следующее требование, касающееся ООП: «В проекте АЭС рассматриваются и обосновываются меры по предупреждению или защите систем и элементов от отказов по общей причине.

Возможность возникновения отказов по общей причине является одной из основных проблем для информационных и управляющих систем АЭС.

НП 306.5.02/3-035-2000 [2] содержит раздел, посвященный защите от отказов по общей причине:

4.7.1 В ИУС и ПТК должны быть предусмотрены необходимые меры по предупреждению и защите от отказов по общей причине.

4.7.2 В качестве (единичных) событий или причин, способных вызывать отказ по общей причине, рассматривают:

- отказы элементов ИУС и/или ПТК;

- ошибки персонала при эксплуатации и техническом обслуживании;
- воздействие аномальных природных явлений (землетрясений, ударов молний);
- отклонение условий эксплуатации (температуры, давления, влажности, параметров электропитания и др.) в местах размещения ТСА».

О важности проблемы ООП для ИУС свидетельствует тот факт, что в настоящее время Международная электротехническая комиссия проводит разработку стандарта IEC 62340 Ed.1 "Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Common Cause Failure (CCF)", посвященный отказам важных для безопасности ИУС по общей причине. В разработке этого стандарта принимает участие один из авторов настоящей статьи.

Отметим, что в книге [3] отдельный раздел посвящен ООП ИУС.

2. Методы оценки отказов ИУС по общей причине

Методы оценки ООП ИУС (как цифровых, так и аналоговых) можно классифицировать по двум признакам:

- по виду оценки;
- аналитические;
- статистические;

- по виду рассматриваемого события;
- событие – отказ ИУС по общей причине;
- событие – нарушение в работе АЭС вследствие ООП ИУС.

Известны различные аналитические методы оценки ООП (например, [4]). Из них наибольшее распространение получил метод греческих букв, обозначающих кратность отказа - количество компонентов в системе, в которых одновременно произошел ООП. Затем значения показателей альфа и бета (а иногда и гамма), характеризующие ООП, учитываются при расчетах.

Далее будут использованы статистические методы.

В качестве событий, для которых рассматриваются ООП, желательно было бы учитывать все отказы ИУС. Однако сбор данных об отказах ИУС в Украине ведется нерегулярно. Эти данные недостаточно полны и достоверны. Иная ситуация с нарушениями безопасности.

Нарушениями в работе АЭС являются события, которые привели к отклонениям от пределов и/или условий безопасной эксплуатации или определенным отклонениям от нормальной эксплуатации [5]. Исходя из этого, под нарушением в работе АЭС, вызванным неправильным функционированием ИУС, будем понимать событие, обусловленное отказом ИУС или воздействием внешней среды на ИУС, приведшее к отклонению от нормальной эксплуатации, отклонениям от пределов и/или условий безопасной эксплуатации.

Нарушения (согласно [5]) делятся на аварии и происшествия.

Нарушениями, относящимися к аварии, являются выбросы в окружающую среду с различной радиоактивностью, а также выброс на площадку АЭС и в окружающую среду такого количества радиоактивных веществ, при котором превышены годовые значения предельно допустимых выбросов и/или допустимых сбросов, но радиационная обстановка за

границей санитарно-защитной зоны АЭС не требует специальных мер по защите населения.

Нарушения, относящиеся к происшествиям, разделяются на группы.

Наиболее тяжелое – разовый выброс в окружающую среду радиоактивных веществ, не превышающих значений предельно допустимых годовых выбросов и допустимых сбросов (категория П01/1).

Наиболее легкие:

- разгрузка энергоблока АЭС на величину 25% и более от уровня мощности, непосредственно ей предшествовавшего, вызванная отказом оборудования или внешним воздействием естественного или искусственного происхождения;
- срабатывание системы безопасности или канала системы безопасности по прямому назначению в режиме, не связанном с обеспечением функции безопасности;
- неработоспособность канала (каналов) систем безопасности в любом режиме эксплуатации АЭС в течение срока, не превышающего разрешенного технологическим регламентом.

В отличие от отказов, статистические данные по нарушениям безопасности собираются весьма четко и статистику по ним можно полагать достоверной.

Поэтому ниже в качестве событий при расчете ООП ИУС принимаются нарушения безопасности АЭС вследствие ООП ИУС.

3. Результаты статистической обработки данных о нарушениях в работе АЭС из-за отказов ИУС по общей причине

Согласно [5], после каждого нарушения АЭС выпускает «Отчет о расследовании нарушения в работе АЭС».

В Отчете содержится следующая информация:

- номер отчета (включающий номер энергоблока АЭС, на котором произошло данное нарушение, сокращенное название АЭС, категорию нару-

шений, порядковый номер нарушения в работе АЭС в текущем году);

- дату выпуска отчета (дата окончания работы комиссии по расследованию нарушений в работе АЭС);

- дата нарушения (дата возникновения первого аномального события нарушения в работе АЭС);

- время возникновения нарушения (час, минуты, секунды);

- название нарушение в работе АЭС;

- наименование организаций и предприятий, которым рассылается отчет;

- описание нарушения, включающие информацию о состоянии энергоблока АЭС до возникновения нарушений и информацию о возникновении и развитии нарушения;

- причины нарушения (указывают перечень аномальных событий в ходе нарушения, перечень действий, предпринятых для выяснения событий, непосредственные причины нарушения, коренные причины нарушения, сопутствующие факторы, корректирующие меры, направленные на устранение причин, прилагается справка о повторяемости нарушения);

- оценка с точки зрения безопасности (оценка влияния нарушения на безопасность АЭС; оценка нарушения по шкале INES [6] и др. обоснование выбора категории нарушения) и др.

Отчеты по расследованию нарушений в работе АЭС Украины рассылаются Национальной атомной энергогенерирующей компании "Энергоатом", Государственному комитету ядерного регулирования Украины, Государственному научно-техническому центру по ядерной и радиационной безопасности (ГНТЦ ЯРБ), а также в другие организации и ведомства Украины и за рубеж в соответствии с установленным порядком.

Совокупность таких отчетов в течение ряда лет используется ГНТЦ ЯРБ для создания базы данных о нарушениях в работе АЭС. Статистическая ин-

формация в настоящей статье по нарушениям в работе энергоблоков ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 из-за ИУС получена из указанной базы данных за период 1996÷2007 г.г.

В соответствие с вышеизложенным определением ООП, в качестве исходных событий или причин, способных вызвать нарушения из-за ООП ИУС, рассмотрены:

- отказы компонентов ИУС;

- ошибки персонала, которые могли быть сделаны;

- при разработке и/или изготовлении программно-технических средств, разработке программного обеспечения, проектировании и/или комплектации ИУС;

- при монтаже, интеграции аппаратных и программных средств, наладке, обслуживании и/или сопровождении ИУС;

- во время эксплуатации ИУС;

- внутренние и внешние воздействия, включающие;

- отклонение условий эксплуатации (температуры, влажности, параметров электропитания и др.), которые могли быть вызваны отказами обеспечивающих систем электроснабжения, вентиляции и т.п.;

- отклонение условий эксплуатации, которые могли возникнуть при проектных авариях, аномальных природных явлениях (землетрясения, ударах молнии и т.п.), опасных внешних или внутренних событиях (пожаре, затоплении и т.п.);

- влияние других систем через общие участки цепей ввода, вывода, электропитания, заземления и/или по пространству помещений;

- влияние близко расположенного электро-технического оборудования и/или силовых электрических кабелей.

На энергоблоках с реакторами ВВЭР АЭС Украины в течение 2000-2007 годах были проведены масштабные комплексы работы по модернизации

действующих, как правило, аналоговых систем на новые цифровые системы, базируемые на новых информационных технологиях и современной элементной базе. Анализ нарушений из-за ИУС проводился отдельно для аналоговых и цифровых систем. относящиеся к ООП или прочим отказам или событиям (рис. 1).

В табл. 1 все нарушения из-за ИУС классифицированы по двум признакам:

- по виду систем (цифровые или аналоговые);
- по виду отказов (ОПП и прочие отказы).

Как видно из табл. 1, за исследуемый период на энергоблоках АЭС Украины с реакторами типа ВВЭР из-за отказов ИУС произошло всего 122 нарушения, из них 13 нарушений вызваны ООП ИУС (2 нарушения вызваны цифровыми системами, 11 нарушений – аналоговыми системами).

Общее число нарушений в работе энергоблоков ВВЭР АЭС Украины, вызванных отказами цифровых систем, составило 23, а отказами аналоговых систем – 99. Доля нарушений из-за ООП для цифровых систем составляет 8,7%, для аналоговых систем – 11%.

В табл. 2 приведены данные о причинах нарушений в работе АЭС Украины, обусловленных ООП ИУС.

Причинами нарушений из-за ООП ИУС были как отказы компонентов, так и внешние и внутренние воздействия на ИУС. Нарушений из-за ошибок персонала не было.

Следует отметить, что на новых действующих

с 2004 года энергоблоках №4 РАЭС и №2 ХАЭС, а также на энергоблоке №6 ЗАЭС нарушений из-за ООП ИУС не наблюдалось.

Все указанные в табл. 3 аналоговые системы, вызвавшие нарушения в работе АЭС Украины из-за ООП, являются управляющими системам безопасности и имеют класс безопасности 2. В отличие от аналоговых систем, цифровые системы, у которых ОПП вызвали два нарушения из-за внешних воздействий, относятся к системам нормальной эксплуатации, важным для безопасности, и имеют класс безопасности 3.

Анализ нарушений из-за ООП ИУС по категориям показал, что за анализируемый период не было ни одного нарушения, относящегося к авариям. Все 13 нарушений относятся к происшествиям (наибольшее число нарушений наблюдалось по категории П05 – 9 нарушений, остальные (4 нарушения) относятся к категориям П07 и П08 – по 2 нарушения).

В табл. 4 приведена классификация категорий нарушений из-за ООП ИУС по категориям согласно [5] и по шкале INES [6].

На рис. 1 приведен график изменения интенсивности нарушений из-за ООП ИУС в зависимости от календарного времени.

При расчете интенсивности нарушений учитывалось, что за период с 1996 по 2003 годы на АЭС Украины эксплуатировалось 13 энергоблоков, а за период с 2004 по 2007 годы - 15 энергоблоков (к действующем ранее добавились новые энергоблоки №2 ХАЭС и №4 РАЭС).

Таблица 1

Число нарушений в работе АЭС Украины, вызванных отказами цифровых и аналоговых систем

Система	Число нарушений		
	из-за ООП ИУС	из-за прочих отказов ИУС	Всего
Цифровые системы	2	21	23
Аналоговые системы	11	88	99
Всего:	13	109	122

Таблица 2

Причины нарушений в работе АЭС, обусловленные отказами по общей причине

Причины нарушений	Число нарушений из-за ООП	
	цифровых систем	аналоговых систем
Отказы компоненты:		
➤ старение	-	1
➤ некачественная изоляция	-	1
➤ нарушение контактов	-	1
➤ электроника	-	1
Внутренние и внешние воздействия на ИУС:		
➤ помехи	2	2
➤ отказ системы вентиляции	-	2
➤ молния	-	1
➤ кратковременная потеря питания	-	1
➤ трещина фундамента сейсмодатчиков	-	1
Всего:	2	11

Таблица 3

Типы ИУС, которые вызвали нарушения в работе АЭС из-за отказов по общей причине

Тип системы	Число нарушений	
	из-за отказа технических средств	из-за влияния внешних и внутренних воздействий
Аналоговые системы:		
❖ аварийная защита	1	1
❖ первый канал системы безопасности	-	1
❖ система группового и индивидуального управления	2	1
❖ система индустриальной антисейсмической защиты	-	2
❖ унифицированный комплекс технических средств	1	2
Цифровые системы:		
❖ электронная часть системы регулирования турбины	-	1
❖ система автоматического регулирования турбинного отделения	-	1
Всего:	4	9

Таблица 4

Классификация категорий нарушений в работе АЭС по категориям и по шкале INES

Категория нарушения	Уровень действий по шкале INES	Число нарушений из-за ООП ИУС
П05	- (вне шкалы)	1
	0 (отклонение)	6
	1 (аномалия)	1
П07	0 (отклонение)	2
П08	- (вне шкалы)	1
	0 (отклонение)	1
	1 (аномалия)	1

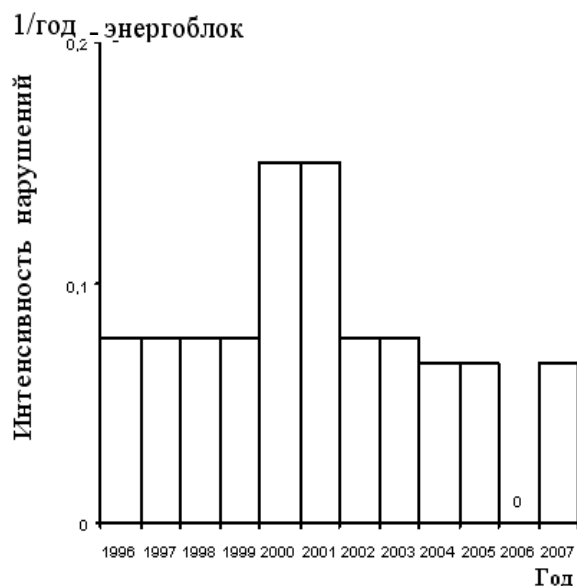


Рис. 1. Интенсивность нарушений в работе энергоблоков АЭС из-за ИУС в зависимости от календарного времени

Средняя интенсивность нарушений в работе энергоблоков вследствие ООП ИУС составила 0,08 1/год-энергоблок.

За рубежом функционирует проект "Международный обмен данными об отказах по общей причине" ("International Common Cause Data Exchange" – ICE), где участвуют Великобритания, Германия, Канада, Франция, США и др., но отсутствует Украина [7]. Представляется целесообразным участие Украины в этом проекте.

Литература

1. НП 306.1.02/1.034-2000. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.
2. НП 306.5.02/3.035-2000. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам.
3. Ястребенецкий М.А., Васильченко В.Н., Виноградская С.В. и др. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. – К.: Техника, 2004. – 115 с.
4. Mosleh, A. et al. Procedures for Treating Common Cause Failures in Safety and Reliability Studies. 1988. NUREG/CR-4780, EPRI NP-5613.
5. НП 306.2.100-2004. Положения о порядке расследования та учета нарушений в работе атомных электрических станций.
6. The International Nuclear Event Scale (INES). IAEA. User's Manual 2001 Edition.
7. Tirira J., Kreuser A. Icde project – an international collaboration on collecting and analyzing CCF events. GRS/IRSN, EUROSAFE-2003. Seminar 1 – Nuclear Installation Safety. – Paris, 2003.

Поступила в редакцию 12.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.Д. Кошевой, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.