

УДК 621.3

С.А. ТРУБЧАНИНОВ

Государственный НТЦ по ядерной и радиационной безопасности, Харьков, Украина

СОПОСТАВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМАМ ПОСЛЕАВАРИЙНОГО МОНИТОРИНГА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Проанализированы документы, содержащие требования к системам послеаварийного мониторинга (ПАМС) атомных электростанций (АЭС). Рассмотрены требования документов, разработанных Институтом инженеров по электротехнике и электронике (США), Комиссией ядерного надзора США, которые отражают требования к ПАМС. В Украине общие требования к ПАМС отражены только в проектах нормативных документов по ядерной и радиационной безопасности, содержащих требования к информационным и управляющим системам (ИУС), важных для безопасности атомных электростанций.

Ключевые слова: авария, безопасность, система, послеаварийный мониторинг, реакторная установка.

Введение

Для непрерывного мониторинга и индикации значений критических параметров, которые определяют границы безопасности в условиях проектных и запроектных аварий, на энергоблоках АЭС Украины в настоящее время используются системы представления параметров безопасности (СППБ). СППБ является инструментом, помогающим оператору оценить состояние критических функций безопасности (КФБ) энергоблока и воспользоваться процедурами симптомно-ориентированных инструкций для выполнения действий, направленных на восстановление КФБ при обнаружении нарушений. Однако СППБ не обеспечивают контроль критических параметров в условиях тяжёлых аварий, к которым относятся запроектные аварии с тяжёлым повреждением активной зоны, при котором превышен максимальный проектный предел повреждения тепловыделяющих элементов. В случае возникновения запроектных аварий, существующее оборудование информационных систем энергоблока АЭС не сможет выдержать условий протекания аварии, что может привести к потере информационной поддержки оперативного персонала, и, как следствие, оператор не сможет предпринять действия, направленные на перевод реакторной установки в безопасный режим.

К тому же, после аварии на АЭС «Фукусима», Генеральной конференцией МАГАТЭ в сентябре 2011 г. был утвержден План действий по ядерной безопасности МАГАТЭ [1], который включает в себя требования об усилении аварийной готовности на АЭС.

Это привело к необходимости создания системы, которая будет действовать независимо от других систем энергоблока и оборудование которой будет способно противостоять условиям любых аварий, не снижая при этом чувствительность и точность измерения, и поддерживать оперативный персонал достоверной информацией. Эти задачи возлагаются на систему аварийного и послеаварийного мониторинга (ПАМС).

ПАМС разрабатывается с целью контроля параметров и систем реакторной установки и защитной гермооболочки во время и после проектных и запроектных (включая тяжелые) аварий и обеспечения оперативного персонала, группы инженерно-технической поддержки штаба руководителя аварийных работ информацией о значениях контролируемых параметров, необходимой для:

- перевода реакторной установки в стабильное состояние;
- реализации мер, предусмотренных для смягчения последствий аварии;
- оценки состояния и эффективности защитных барьеров;
- определения мер по защите персонала АЭС, населения и окружающей среды от последствий аварии;
- оценки состояния активной зоны при восстановлении работы энергоблока;
- оценки выполнения системами АЭС критических функций безопасности.

Одной из функций ПАМС можно считать сохранение информации в условиях проектных и запроектных аварий, которая при анализе позволит выяснить причины аварийных ситуаций и аварий.

Эта функция возлагается на систему «Черный ящик». С помощью системы «Черный ящик» при анализе аварийных ситуаций будет учитываться выданная оперативному персоналу и кризисной группе информация, на основании которой оценивалось состояние безопасности энергоблока, а также какие советы и рекомендации выдавались операторам блочного щита управления (БЩУ).

1. Требования к ПАМС в зарубежных и международных нормативных документах

Необходимость создания ПАМС была осознана после аварии в 1979 г. на энергоблоке №2 американской АЭС «Три Майл Айленд», поскольку в экстремальных условиях протекания аварии штатные системы не обеспечили необходимый контроль и управление реактором.

Эта авария проявила недостатки проектных решений по системам контроля и управления, что влечет за собой недостаточный уровень безопасности АЭС в целом.

Для устранения этих недостатков и повышения ядерной и радиационной безопасности эксплуатации АЭС в аварийных и послеаварийных условиях Институтом Инженеров по электротехнике и электронике (IEEE, США) в 1981 г. был разработан стандарт [2], который перерабатывался в 2002 [3] и в 2010 [4] годах и распространяется на все типы реакторов. Отметим особенности этого стандарта.

1. В США принято разделение систем АЭС по безопасности на две категории. К классу 1Е относятся электрическое оборудование и системы, которые необходимы для аварийной остановки реактора, изоляции защитной оболочки, охлаждения активной зоны реактора, теплоотвода от защитной оболочки и реактора или для других действий, существенных для предотвращения попадания радиоактивных материалов в окружающую среду [5]. Остальные системы не относятся к классу 1Е.

2. В стандарте [4] приведено 5 групп для классификации каналов ПАМС. Предусматривается разделение каналов на 5 групп:

- Группа А – ручное управление действиями для выполнения функций безопасности для которых нет автоматического управления;
- Группа В – оценивание процесса выполнения или поддержание функций безопасности;
- Группа С – указание возможного или фактического повреждения барьеров;
- Группа D – указание состояния и выполнения функций безопасности и необходимых обеспечивающих функций; указание состояния систем

безопасности, необходимых для остановки и удержания реактора в безопасном состоянии;

- Группа Е – мониторинг величины выбросов радиоактивных веществ; мониторинг окружающей среды для определения воздействия выбросов радиоактивных веществ; мониторинг уровня радиации на территории станции, в помещениях щитов управления, определение мест возможного доступа для восстановления блока.

Требования [4] для разных групп контролируемых переменных ПАМС отражено в табл. 1.

[6] является документом, который содержит рекомендации Комиссии ядерного надзора США (US NRC) по созданию ПАМС. В нем изложены принципы построения, параметры реактора, вырабатываемые в аварийных и послеаварийных режимах ПАМС, и конкретные технические решения. К этим рекомендациям относятся:

- применение приборов с расширенными диапазонами измерений;
- возможность контроля динамики деградации оборудования и систем реактора, находящихся в зоне аварии;
- все оборудование, которое используется в системе ПАМС, должно выдерживать экстремальные условия эксплуатации на протяжении требуемого времени его функционирования;
- элементы системы ПАМС и их крепления должны быть спроектированы с учетом возможных сейсмических воздействий;
- выбранные диапазоны измерений должны перекрывать предельные значения контролируемых параметров, при которых конструкционные элементы реактора сохраняют свою работоспособность.

В новых документах МАГАТЭ имеются требования к ПАМС, существенно развивающие требования в имевшихся ранее документах.

В стандарте безопасности МАГАТЭ [7], содержащего требования к обеспечению безопасности АЭС в проекте, кратко приведены требования к ПАМС. Эти требования расширены в проекте документа [8], в котором отражены требования информационно-управляющих систем (ИУС) АЭС ([8] должен быть опубликован в 2014 г.). Согласно [8], ПАМС может осуществлять прием информации, как от других систем АЭС, так и по собственным каналам. ПАМС должна обеспечивать: предоставление значений основных показателей для управления АЭС при возникновении аварийных условий, необходимых для получения спланированных заранее действий для перевода АЭС в безопасное состояние; определение выполнения основных функций безопасности; определение состояний и функционирования вспомогательных

систем АЭС необходимых для смягчения аварий и перевода АЭС в безопасное состояние; определе-

ние необходимости принятия действий для защиты общественности от радиационных выбросов.

Таблица 1

Требования для разных групп контролируемых переменных ПАМС

Наименование требований	Группа				
	А	В	С	Д	Е
Точность	+	+	+	+	+
Быстродействие	+	+	+	+	+
Время работы системы	+	+	+	+	+
Надежность	+	+	+	+	+
Документирование функционирования	+	+	+	+	+
Принцип единичного отказа	+	+	+	-	-
Отказ по общей причине	+	+	+	-	-
Независимость и разделение	+	+	+	-	-
Изоляция	+	+	+	-	-
Информационная неопределенность	+	+	+	-	-
Маркировка	+	+	+	+	+
Электропитание	+	+	+	+	+
Тестируемость (контролепригодность)	+	+	+	+	+
Непосредственное измерение	+	+	+	+	+
Контроль доступа (защита от несанкционированного доступа)	+	+	+	+	+
Техническое обслуживание и ремонт	+	+	+	+	+
Минимизация измерений	+	+	+	+	+
Дополнительные функции	+	+	+	+	+
Измерительные приборы	+	+	+	+	+
Документирование критериев проекта	+	+	+	+	+
Квалификация	+	+	+	+	+/-

2. Требования к ПАМС в проектах нормативных документов Украины

Указание для оснащения АЭС Украины ПАМС содержится в проекте [9], согласно которому, на АЭС должна быть предусмотрена система для сбора, регистрации и хранения информации об исходном состоянии, прохождении аварийных сигналов, протекании переходных процессов при ава-

риях, включая тяжелые. Возникла необходимость пересмотра действующих норм и правил [10], содержащих требования к ИУС и их компонентам, важным для безопасности АЭС, с целью гармонизации с требованиями новых международных документов, а также с учетом результатов применения [10].

Государственной инспекцией ядерного регулирования Украины и Государственным научно-

техническим центром по ядерной и радиационной безопасности разработан проект норм и правил [11] устанавливающий требования к цифровым ИУС, важным для безопасности АЭС.

Этот проект содержит следующие требования к ПАМС:

- ПАМС осуществляет информационную поддержку персонала и экспертов по безопасности во время управления авариями, ликвидации их последствий и возвращения реакторной установки в контролируемое состояние, а также в процессе последующего анализа причин возникновения и путей протекания проектных и запроектных аварий.

- ПАМС должна выполнять функции архивирования, отображения и регистрации данных о возникновении исходных событий, аварийных ситуаций и аварий, действиях систем безопасности и персонала, направленных на обеспечение безопасности, а также данных о контролируемых параметрах, характеризующих состояние реактора, технологического оборудования, физических барьеров и других конструкций, систем и элементов, важных для безопасности.

- диапазоны измерений параметров, контролируемых системой, должны охватывать и те значения, при которых могут быть нарушены целостность тепловыделяющих элементов, границы теплоносителя первого контура и герметичного ограждения.

- средства отображения и регистрации данных, входящие в состав ПАМС, должны быть расположены в помещении БЩУ и, в обоснованных случаях, резервного щита управления (РЩУ), а также в помещениях внутреннего и внешнего кризисных центров.

- ПАМС должна выполнять основные функции при любых учитываемых проектом исходных событиях, нарушениях пределов и условий нормальной и безопасной эксплуатации, в аварийных ситуациях, во время развития аварий и в послеаварийных режимах.

- данные должны сохраняться в архиве и оставаться неповрежденными в условиях запроектных аварий. Следует обеспечить защиту архивных данных от непреднамеренного или преднамеренного изменения в течение установленного срока.

Общие требования к ПАМС регламентированы в проекте отраслевого стандарта Министерства энергетики и угольной промышленности Украины [12].

Согласно [12], функции ПАМС предусматривают информационную поддержку персонала и экспертов по безопасности во время управления авариями, ликвидации их последствий и возвращения реакторной установки в контролируемое со-

стояние, а также в процессе последующего анализа причин возникновения и путей протекания проектных и запроектных аварий.

Данные ПАМС должны быть достаточны, чтобы:

- идентифицировать нарушения эксплуатационных пределов и/или условий (или условий безопасной эксплуатации) и вызвавшую их причину;

- воссоздать последовательность событий, включая действия управляющих систем безопасности и оперативного персонала, убедиться в том, что управляющие системы своевременно инициировали, а технологические – выполнили все предусмотренные защитные действия;

- убедиться в том, что в процессе выполнения защитных действий не были превышены пределы безопасной эксплуатации, и что физические барьеры, которые предотвращают выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду, остались неповрежденными;

- в случае возникновения аварийной ситуации – воссоздать последовательность событий, вызвавших эту ситуацию, оценить степень превышения пределов безопасной эксплуатации и убедиться, что физические барьеры остались неповрежденными;

- при перерастании аварийной ситуации в аварию – контролировать выход радиоактивных веществ и/или ионизирующих излучений за предусмотренные проектом границы, осуществлять необходимые действия по управлению аварией, определять необходимость принятия аварийных мер за пределами АЭС;

- оценивать повреждения конструкций, систем и элементов, включая физические барьеры, вызванные проектной или запроектной аварией, и использовать эти данные в процессе ликвидации её последствий.

ПАМС выполняет функции мониторинга, архивирования, отображения и регистрации данных о:

- возникновении исходных событий, нарушений эксплуатационных пределов и условий, аварийных ситуаций и аварий;

- командах защитных действий, выданных системами безопасности, и действиях персонала, направленных на обеспечение безопасности;

- значениях контролируемых теплогидравлических, нейтронно-физических и других параметров, характеризующих состояния реактора, основного технологического оборудования, физических барьеров и других конструкций, систем и элементов, важных для безопасности.

ПАМС должна выполнять основные функции при любых учитываемых проектом исходных со-

бытиях, нарушениях пределов и условий нормальной и безопасной эксплуатации, в аварийных ситуациях, во время развития аварий и в послеаварийных режимах.

Архивированные данные должны сохраняться и оставаться неповреждёнными в условиях запроектных аварий. Необходимо обеспечить защиту архивных данных от непреднамеренного или преднамеренного изменения в течение установленного срока.

Отметим, что в проектах [11] и [12] все функции разделены на группы:

- управляющих систем безопасности (УСБ);
- систем нормальной эксплуатации (СНЭ);
- систем передачи данных (СПД);
- щитов управления;
- систем послеаварийного мониторинга.

В этих документах ПАМС впервые выделена отдельно наряду с ИУС, относящихся к СНЭ, УСБ, СПД и щитов управления. Таким образом, ПАМС получила отдельную «прописку».

3. Детальные требования к ПАМС

В Украине, которая начинает внедрение ПАМС на энергоблоках АЭС, эта система состоит из следующих основных составляющих: программно-технического комплекса (ПТК), обеспечивающего обработку и представление параметров мониторинга персоналу БЩУ и персоналу кризисных центров и аварийных контрольно-измерительных приборов (АКИП) с расширенными диапазонами измерения, квалифицированными на жесткие условия внешнего окружения, возникающих в результате аварии, в т.ч. тяжелой.

Таким образом, существует необходимость разработки детальных требований к ПАМС, в которые должны входить требования, предъявляемые к ПТК, АКИП, а также требования специальных руководств по управлению тяжелыми авариями, которые разрабатываются для каждого энергоблока индивидуально (рис. 1).



Рис. 1. Выбор требований к ПАМС

Также при разработке детальных требований к ПАМС необходимо учитывать международный опыт, отраженный в стандартах [2 – 4, 6].

Выводы

ПАМС предназначена для информационной поддержки оператора об основных параметрах безопасности атомных электростанций в условиях аварий, в том числе запроектных с тяжелым повреждением топлива.

После аварии на АЭС «Три Майл Айленд» в США Институтом инженеров по электротехнике и электронике в 1981 г. был разработан стандарт [2], содержащий требования к ПАМС, который перерабатывался в 2002 [3] и в 2010 [4] годах. Также в США Комиссией ядерного надзора был разработан документ [6], который содержит рекомендации по созданию ПАМС.

В Украине общие требования к ПАМС отражены только в проектах [11, 12]. Подчеркивается необходимость разработки в Украине регулирующего документа, охватывающего детальные требования к ПАМС с учётом норм и правил по ядерной и радиационной безопасности, действующих в Украине, а также международного опыта, отражённого в стандартах [2 – 4, 6].

Литература

1. IAEA Action Plan on Nuclear Safety, GOV/2011/59-GC(55)/14 [Text]. – September 2011.
2. IEEE Std 497-1981. IEEE Standard Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Generating Stations [Text]. –The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, USA, 1981.
3. IEEE Std 497-2002. IEEE Standard Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Generating Stations [Text]. –The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, USA, 2002.
4. IEEE Std 497-2010. IEEE Standard Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Generating Stations [Text]. –The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, USA, 2010.
5. ANSI/IEEE 308. Standard Criteria for Class 1E Power Systems for Nuclear Power Generating Stations [Text]– 2001, USA.
6. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Regulatory Guide 1.97. Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Plants [Text]. – Revision 4, 2006, USA.
7. IAEA SSR-2/1. Safety of Nuclear Power Plants: Design / Specific Safety Requirements [Text]. – Vienna, 2012.
8. IAEA DS-431. Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants / Draft Safety Guide [Text].

9. НП 306.5.02.3.035–2000. *Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций [Текст]. – Утверждено приказом Госатомрегулирования Украины от 28.03.2000 №19.*

10. НП 306.2.141. *Общие положения безопасности атомных станций [Текст] / проект Госатомрегулирования Украины.*

11. *Нормы и правила по ядерной и радиационной безопасности. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций [Текст] / проект Госатомрегулирования Украины.*

12. *Информационные и управляющие системы, важные для безопасности атомных станций. Общие технические требования [Текст] / проект Минэнергоугля Украины.*

Поступила в редакцию 18.02.2013, рассмотрена на редколлегии 13.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. компьютерных систем и сетей В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ЗІСТАВЛЕННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМ ПІСЛЯАВАРІЙНОГО МОНІТОРИНГУ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

С.О. Трубчанинов

Проаналізовано документи, що містять вимоги до систем післяаварійного моніторингу (ПАМС) атомних електростанцій (АЕС). Розглянуто вимоги документів, розроблених Інститутом інженерів по електротехніці й електроніці (США), Комісією ядерного нагляду США, які відображають вимоги до ПАМС. В Україні загальні вимоги до ПАМС відображені тільки в проектах нормативних документів з ядерної та радіаційної безпеки, що містять вимоги до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних електростанцій.

Ключові слова: аварія, безпека, система, післяаварійний моніторинг, реакторна установка.

COMPARISON OF REQUIREMENTS FOR NPP POST-ACCIDENT MONITORING SYSTEMS

S.A. Trubchaninov

Documents, which contain requirements for post-accident monitoring systems (PAMS) of nuclear power plants (NPP), were analyzed. Requirements of documents, which elaborated by Institute of Electrical and Electronics Engineers, Nuclear Regulatory Commission of USA and contain requirements for PAMS, were considered. In Ukraine general requirements for PAMS contain only in drafts of nuclear and radiation safety normative documents of instrumentation and control systems important to NPP safety.

Key words: accident, safety, system, post-accident monitoring, reactor plant.

Трубчанинов Сергей Александрович – младший научный сотрудник отдела анализа безопасности управляющих и информационных систем АЭС, Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, Харьков, Украина, e-mail: sergey_trubchaninov@mail.ru.