

УДК 004.832.2

М.А. ЯСТРЕБЕНЕЦКИЙ*Государственный НТЦ по ядерной и радиационной безопасности, Украина***УПРАВЛЕНИЕ СТАРЕНИЕМ КРИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Рассмотрены принципы управления старением критических систем на примере информационных и управляющих систем АЭС. Даны краткие сведения о новом стандарте МЭК, посвященном этой проблеме.

старение, информационные и управляющие системы, продление ресурса**Введение**

Старение является неизбежным природным феноменом, распространяющимся как на людей, так и на окружающую среду, включая любые системы, в том числе критические. Эта проблема для критических систем менее важная, чем старение человека, но важнее, чем старение многих иных технических объектов.

Далее под старением систем будем понимать деградацию характеристик (например, быстродействия, точности) или ухудшение показателей надежности во времени.

Для критических систем на протяжении ряда лет ставилась задача продления ресурса (срока эксплуатации, срока службы – life extension). Продление ресурса – один из видов стратегии управления старением. Это понятие широко применялось в таких отраслях техники как авиация, ракеты, атомная энергетика.

Понятие продление ресурса изделия используется, если, во-первых, имеется зафиксированный в технической документации на это изделие срок его эксплуатации (service life, usefull life), и, во-вторых, если в стандартах или документации на изделие содержится требование, что изделие по окончании ресурса должно быть заменено или возможность продления ресурса должна быть

доказана.

Совсем недавно в открытой печати дискутировалось два вопроса по продлению ресурса:

- продление ресурса самолетов, где говорилось, что Авиационный научно-технический комплекс им. Антонова разработал уникальную методологию продления ресурса (даже скорее, управление старением) старых машин;

- продление ресурса ракет, где прозвучало интересное определение «ракеты второй свежести».

- примеры систем, где имеются нормативные документы по продлению ресурса:

- военная техника, где был издан ГОСТ В15702-83 «Порядок установления и продления назначенных ресурса, срока службы, срока хранения»;

- атомная энергетика, где проблема продления срока эксплуатации находилась в центре внимания Регулирующего органа Украины с момента его создания. Еще в 1994 г. этот вопрос рассматривался на Коллегии Госатомнадзора Украины, где была определена необходимость разработки регулирующих требований к порядку продления срока эксплуатации оборудования АЭС. Во исполнение этого решения был разработан нормативный документ для средств автоматизации [1]. Впоследствии, этот документ был переработан с учетом опыта его исполь-

зования на всех АЭС Украины и выпущен под несколько иным названием [2].

2. Стандарт МЭК 62342-2007 «АЭС. Информационные и управляющие системы, важные для безопасности. Менеджмент старения»

Современный подход к менеджменту старения ИУС АЭС развивается в течение последних 10-15 лет. Результаты предшествующих работ отражены в документах:

- МАГАТЭ [3, 4];
- IEEE [5];
- US Nuclear Regulatory Commission [6];
- Electric Power Research Institute (США) [7].

Указанные работы были использованы в новом стандарте МЭК 62342 [8]. Стандарт разрабатывался техническим комитетом МЭК ТК-45А «Reactor Instrumentation» с 2001 по 2006 гг. при участии автора настоящей статьи. Руководитель разработки – Н. Hashemian (США).

Построение стандарта приведено в табл.1. Несколько комментариев к табл.1

1. В стандарте рассматривается физическое старение; моральное старение не рассматривается.

2. Стандарт предназначен для широкого класса технических средств, составляющих ИУС АЭС: центральной части, периферии вплоть до импульсных линий. Исключение составляют кабельные линии, которые не являются предметом рассмотрения в настоящем документе.

3. В стандарте используются понятия «менеджмент старения» (aging management) и «управление старением» (aging control). Управление старением – более узкое понятие, которое включает в себя конкретные действия на АЭС, такие как периодическое техническое обслуживание, определение изменения характеристик из-за старения, анализ показателей надежности, дополнительные тесты и т.п. Менеджмент старения – более широ-

кое понятие, которое охватывает управление старением, а также работы, проводимые вне АЭС, как например, изучение механизма старения и эффектов, вызываемых старением.

4. Существенное внимание уделено методам «on-line» и «in-site» (на месте) мониторинга состояния периферийной аппаратуры (датчиков, преобразователей и т.п.) для определения ее старения и принятия соответствующих мер.

Для этого используется компьютерная техника без демонтажа аппаратуры на месте ее установки на энергоблоке. Для этого служат новые аналитические инструменты (нейтронные сети, искусственный интеллект, распознавание образов и др.).

Примеры:

- «on line» калибровка измерительных каналов;
- «in situ» определение времени отклика (реактивности) термометров сопротивления;
- «in situ» определение времени отклика преобразователей давления, используя технику анализа шумов;
- «in situ» тестирование кабелей;
- «on line» определение засорений импульсных линий и т.п.

Другой пример использования компьютеров – мониторинг условий эксплуатации (condition monitoring) периодический или непрерывный при работе энергоблока.

Такие работы интенсивно проводятся за рубежом, в первую очередь, в США.

На 3^й международной научно-технической конференции «Информационные и управляющие системы АЭС: аспекты безопасности», проведенной в 2007 г. в г. Харькове, доклад сотрудника компании «Westinghouse Electric» (USA) S. Anikanov «On-line Monitoring and Predictive Maintenance of NPP» был посвящен именно этой задаче.

Отметим первую монографию Н. Hashemian [9] по этой проблеме.

Содержание стандарта МЭК 62342

Введение							
Часть 1. Назначение <i>Описывается область действия Стандарта – менеджмент физического старения ИУС АЭС и ее влияние на ядерную безопасность.</i>							
Часть 2. Нормативные ссылки <i>Перечислены стандарты МЭК, касающиеся Стандарта.</i>							
Часть 3. Термины и определения <i>Определение терминов, применяемых в данном стандарте.</i>							
Часть 4. Общие сведения <i>Общие сведения о значении менеджмента старения ИУС.</i>							
Часть 5. Требования к менеджменту старения <i>Описание методологического подхода и практических процессов, необходимых для менеджмента старения.</i>							
5.1 Общее			5.2 Методология			5.3 Процесс	
Часть 6. Понимание феномена старения ИУС <i>Характеризация феномена старения и идентификация потенциальных влияний на ИУС, основываясь на исследованиях, эксплуатационном опыте и других источниках.</i>							
6.1 Общее		6.2 Стрессы, вызывающие старение			6.3 Механизмы старения и эффекты старения		
Часть 7. Требования к идентификации эффектов старения <i>Оценка специфического воздействия эффектов старения.</i>							
7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8
Этапы оценки старения	Выбор компонентов ИУС для оценки старения	Оценка деградации из-за старения ИУС	Стрессы, вызывающие старение	Выполняемые функции и квалификация	Требования к тестам и техническому обслуживанию	Ресурсы для поддержки	Требования к документации
Часть 8. Требования к управлению старением <i>Выполнение необходимых смягчающих действий, препятствующих эффектам старения, путем определения специфических средств для менеджмента старения, например, расширенного тестирования и технического обслуживания или программ управления старением.</i>							
8.1 Общее		8.2 Определение программ управления старением			8.3 Средства для менеджмента старения ИУС		
Часть 9. Организация <i>Организация процесса менеджмента старения, включающего определение долгосрочных стратегий, жизненного цикла ИУС, контроля качества и отчетности.</i>							
9.1 Общее	9.2 Организация менеджмента старения	9.3 Идентификация долгосрочных стратегий эксплуатации и жизненного цикла ИУС	9.4 Организация долгосрочного технического обслуживания оборудования ИУС	9.5 Обеспечение качества	9.6 Отчетность		

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

РЕКОМЕНДАЦИИ И ТРЕБОВАНИЯ

Продолжение таблицы 1

Приложение А <i>Руководство по описанию феномена старения ИУС и требуемых данных для менеджмента старения компонентов ИУС АЭС</i>			
А.1 Примеры факторов стресса, механизмов старения и эффектов старения различных компонентов ИУС	А.2 Данные для менеджмента старения	А.3 Тестирование и мониторинг	
Приложение В <i>Примеры практики менеджмента старения для некоторых компонентов ИУС АЭС</i>			
В.1 Менеджмент старения электронных и электрических компонентов	В.2 Менеджмент старения датчиков температуры и давления	В.3 Менеджмент старения детекторов нейтронного потока	В.4 Менеджмент старения кабелей и соединителей
Приложение С <i>Примеры испытаний и техники мониторинга для менеджмента старения ИУС</i>			
С.1 «On-line» верификация калибровки	С.2 «On-line» определение загрязнения Вентури	С.3 «In situ» тестирование времени реакции датчиков давления	С.4 «On-line» определение засорения в импульсных линиях
С.5 Калибровка термометров сопротивления и термопар	С.6 Проверка времени реакции термометров сопротивления и термопар	С.7 Тестирование кабелей и соединителей	

ИНФОРМАТИВНАЯ ЧАСТЬ

3. Ситуация в Украине

Понятие «менеджмент старения» для ИУС в Украине отсутствует. В частности, практически не проводятся работы по анализу физики старения, анализу факторов, влияющих на старение. Применение компьютерной техники для проведения аппаратуры «on-line» и «in situ» не начато.

Правда, в отличие от зарубежных АЭС, где выше стоимость часа работы персонала и внедрение таких систем оправдано экономически, в Украине час работы ремонтного персонала существенно меньше. Впрочем, с точки зрения безопасности такие работы все равно необходимы.

Работы по продлению ресурса (срока эксплуатации) ИУС ведутся в Украине в течение ряда лет. Актуальность этих работ обусловлена тем, что значительное число энергоблоков на АЭС Украины имеет возраст более 20 лет (рис.1).

Проблема исчерпания ресурса может решаться тремя путями (рис. 2)

– заменой изделия, выработавшего ресурс, на аналогичное новое;

– заменой изделия, выработавшего ресурс, на модернизированное;

– продление срока эксплуатации (ресурса), что возможно, если изделие может выполнять свои функции с требуемыми характеристиками после истечения срока эксплуатации.

Первый путь решения проблемы продления ресурса – замена изделия с закончившимся ресурсом на новое модернизированное. Замена осуществляется в соответствии с требованиями нормативного документа [10]. Полная одновременная замена ИУС действующих блоков практически не реализуема – единственным возможным путем является пошаговая замена («step by step»).

В первую очередь заменялись устройства, которые имели существенное значение для безопасности и не соответствовали требованиям документа [10].

Количество
энергблоков

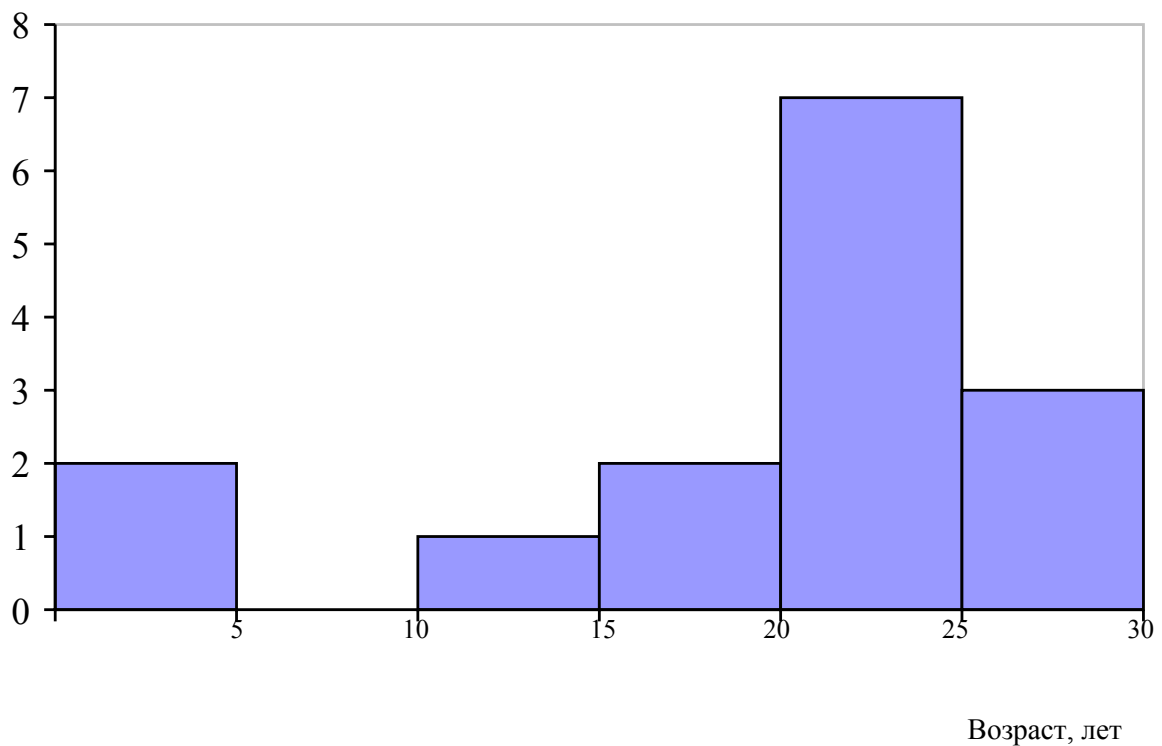


Рис. 1. Возраст энергблоков АЭС Украины

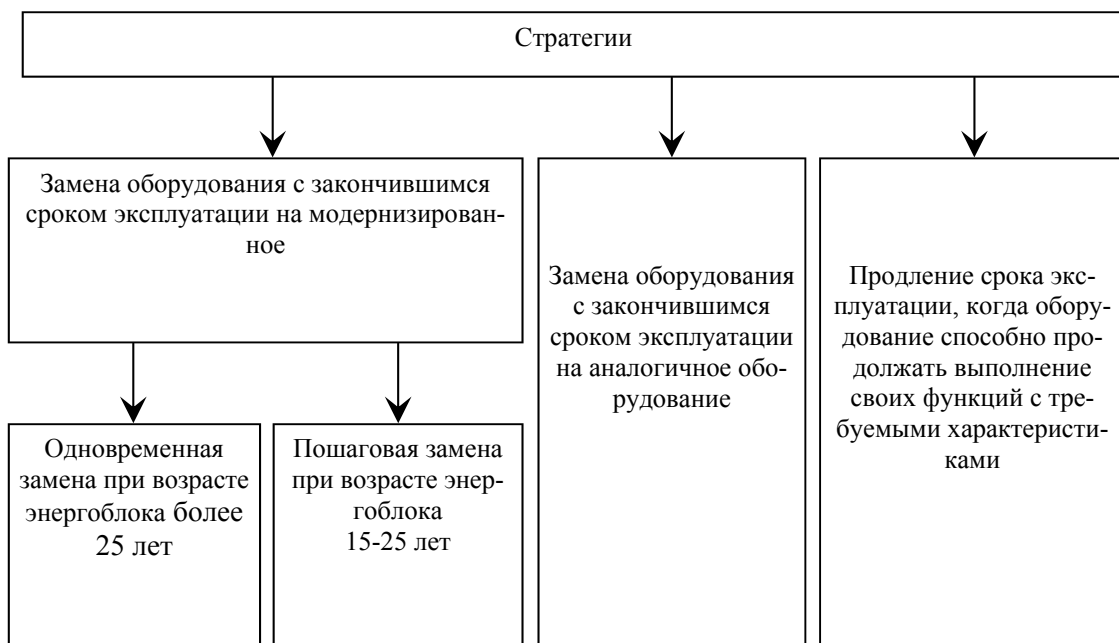


Рис. 2. Стратегии продления срока эксплуатации информационно-управляющих систем

Второй путь – замена оборудования с закончившимся ресурсом на такое же, но новое. Вследствие быстрого технического прогресса и замена большого числа поставщиков, этот путь имел место только для ограниченного числа типов устройств (в основном, для периферийного оборудования, чьи характеристики не изменялись так быстро).

Третий путь – продление ресурса, что возможно, когда оборудование может продолжать выполнять свои функции с требуемыми характеристиками после ограничения срока службы.

Все способы продления срока эксплуатации можно классифицировать по двум признакам:

1-й признак – классификация по методу продления

- анализ случайного процесса изменения параметров технических средств в целом или его компонентов, которые в наибольшей степени подвергаются старению) на основе полученной информации о поведении этого процесса на некоторое время.

- необходимыми условиями для этого анализа является знание предельных значений рассматриваемых параметров и возможность прогноза процесса изменения параметров;

- ускоренные испытания изделий с учетом как старения компонентов, так и стрессоров.

2-й признак – классификация по месту проведения испытаний

- проведение работ непосредственно на АЭС, в процессе ее эксплуатации;

- проведение работ в стендовых условиях (например, разработчиков аппаратуры, исследовательской организации) или даже в условиях АЭС.

Естественно, что испытания в стендовых условиях лаборатории являются активными и более глубокими.

В частности, при этом можно проводить и ускоренные испытания, можно моделировать большие нагрузки. Однако такие испытания могут охватывать ограниченное число образцов.

Испытания на АЭС являются пассивными испытаниями, в которых стрессоры изменить нельзя.

Это фактически не испытания, а сбор статистических данных. Однако при этом возможно охватить наблюдениями значительное число образцов.

Реально, в атомной энергетике Украины не используются ускоренные испытания и не проводятся работы в стендовых условиях, все работы ведутся на АЭС путем анализа процессов изменения параметров.

Последовательность работ приведена на рис.3. Аналогично стандарту МЭК [8], выполняются:

- периодические измерения и тесты для проверки характеристик (в частности, увеличение частоты тестов, если есть деградация);

- замена компонент;

- оптимизация технического обслуживания;

- анализ надежности и тренда характеристик (особенно, надежности).

В регулирующем органе Украины ранее была обобщенная база данных по тренду показателей надежности из-за старения (такая база данных рекомендуется стандартом [8]). К сожалению, сейчас такой базы данных нет.

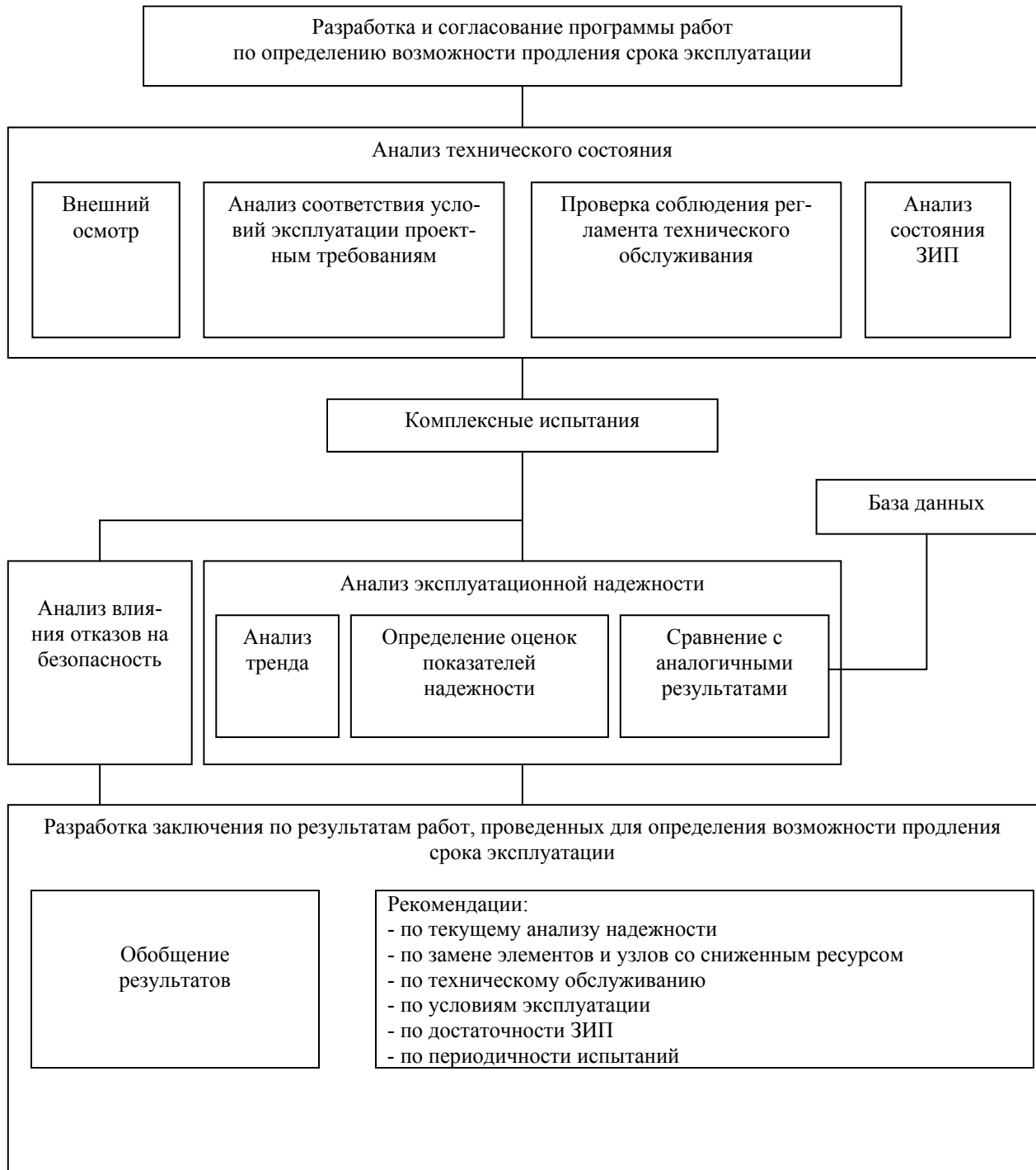


Рис. 3. Последовательность работ по продлению срока эксплуатации

Выводы

1. Целесообразно использование стандарта МЭК 62342 либо как национального (ДСТУ) в качестве рекомендуемого документа либо как стандарта эксплуатирующей организации в атомной энергетике в качестве обязательного документа.

2. Целесообразно использование опыта менеджмента старения ИУС в атомной энергетике для иных критических систем.

3. Целесообразно развитие работ по компьютерным методам и средствам анализа старения периферийной аппаратуры.

Литература

1. НД 306.711-96. Надежность АЭС и оборудования. Продление ресурса средств контроля и управления, входящих в системы, важные для безопасности. Общие требования к порядку и содержанию работ. К.: Министерство охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности. 1996.

2. НП 306.5.02/2.068-2003. Требования к порядку и содержанию работ по продлению срока эксплуатации информационных и управляющих систем, важных для безопасности атомных станций. К., Государственная администрация ядерного регулирования. 2003.

3. IAEA-TECDOC-1147. "Management on aging of I&C equipment in nuclear power plants" International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2000.

4. IAEA-TECDOC-1402. "Management of life cycle and ageing at nuclear power plants: Improved I&C maintenance" International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2002.

5. IEEE 1205. Guide for Assessing, Monitoring and Mitigating Ageing Effect on Class 1E Equipment Used in Nuclear Power Plants Generating Stations.

6. NUREG/CR-5501 U.S. Nuclear Regulatory Commission. Advanced Instrumentation and Maintenance Technologies for Nuclear Power Plants, 1998.

7. EPRI Topical Report, "On-Line Monitoring of Instrument Channel Performance," TF-104965-R1 NRC SER, Electric Power Research Institute, Final Report, 2000.

8. IEC 62342-2007. Nuclear Power Plants – Instrumentation and Control Systems Important to Safety – Management of Aging.

9. Hashemian, H.M., Maintenance of Process Instrumentation in Nuclear Power Plants, book published by Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, Germany, 2007.

10. НП 306.5.02/3.035-2000. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. К., Государственная Администрация ядерного регулирования, 2000.

Поступила в редакцию 16.01.2008

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