

М. А. Ястребенецкий, А. М. Дыбач,  
А. Л. Клевцов, Ю. В. Розен, С. А. Трубочанинов

Государственный научно-технический центр  
по ядерной и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

## Уроки тяжелых аварий применительно к информационным и управляющим системам АЭС Украины

Уроки тяжелых аварий на АЭС являются одним из основных факторов, определяющих развитие АЭС. Статья посвящена рассмотрению этих уроков применительно к информационным и управляющим системам (ИУС) АЭС Украины. Авария на АЭС «Три Майл Айленд» показала недостаточность имевшихся методов предоставления информации персоналу. Основным выводом из этой аварии в Украине было создание систем представления параметров безопасности, реализованных на 11 энергоблоках ВВЭР-1000. Задачами, вытекавшими из уроков аварии на Чернобыльской АЭС для ИУС, явились новый подход к обеспечению культуры безопасности со стороны персонала АЭС, разработчиков ИУС; проведение государственных экспертиз ядерной и радиационной безопасности всех важных для безопасности ИУС; создание нормативных документов с требованиями к безопасности ИУС. Основными задачами после аварии на АЭС «Фукусима» стали проведение стресстестов технических средств автоматизации; ужесточение требований по стойкости ИУС к внешним воздействиям; разработка новых систем (например, послеаварийного мониторинга).

**Ключевые слова:** АЭС, авария, информационная и управляющая система, программно-технические комплексы, безопасность, Фукусима, Чернобыль, Три Майл Айленд.

**М. О. Ястребенецький, О. М. Дибач, О. Л. Клевцов, Ю. В. Розен, С. О. Трубочанінов**

### Уроки важких аварій стосовно інформаційних і керуючих систем АЕС України

Уроки важких аварій на АЕС є одним з основних факторів, що визначають розвиток АЕС. Стаття присвячена розгляду цих уроків стосовно інформаційних і керуючих систем (ІКС) АЕС України. Аварія на АЕС «Три Майл Айленд» виявила недостатність наявних методів надання інформації персоналу. Основним висновком з цієї аварії в Україні було створення систем представлення параметрів безпеки, реалізованих на 11 енергоблоках ВВЕР-1000. Завданнями, що впливали з уроків аварії на Чернобыльській АЕС стосовно ІКС, були новий підхід до забезпечення культури безпеки з боку персоналу АЕС та розробників ІКС; проведення державних експертиз ядерної та радіаційної безпеки всіх важливих для безпеки ІКС; створення нормативних документів з вимогами до безпеки ІКС. Основними завданнями після аварії на АЕС «Фукусіма» стали проведення стрес-тестів технічних засобів автоматизації; посилення вимог зі стійкості ІКС до зовнішніх впливів; розробка нових систем (наприклад, післяаварійного моніторингу).

**Ключові слова:** АЕС, аварія, інформаційна та керуюча система, програмно-технічні комплекси, безпека, Фукусіма, Чернобыль, Три Майл Айленд.

© М. А. Ястребенецкий, А. М. Дыбач, А. Л. Клевцов, Ю. В. Розен, С. А. Трубочанинов, 2016

Определяющими факторами в развитии информационных и управляющих систем (ИУС) атомных электростанций во всем мире, включая Украину, являлись\*:

прогресс в развитии и внедрении новых информационных технологий и компьютерных компонентов и систем;

уроки тяжелых аварий на АЭС, и прежде всего — на АЭС «Три Майл Айленд» (США, 1979), Чернобыльской АЭС (СССР, 1986) [1—3] и «Фукусима-1» (Япония, 2011) [4—6].

Каждая из этих аварий была событием глобального масштаба, которое породило множество проблем и оказало влияние на весь ход дальнейшего развития атомной энергетики в мире.

Наиболее полный анализ аварий применительно к ИУС АЭС дан в отчете Electric Power Research Institute [7] (Gary Johnson), где кроме упомянутых рассмотрены также аварии газоохлаждаемых реакторов (1969—1980) и неэнергетических реакторов (1952—1964). (Впрочем, эти аварии не сказались на развитии ИУС АЭС Украины). Отметим, что этапам развития ИУС АЭС Украины после аварии на Чернобыльской АЭС посвящена статья [8], а предварительным требованиям к ИУС АЭС Украины, возникшим непосредственно после аварии на АЭС «Фукусима-1», — статьи [9, 10].

Задачи, вытекающие из уроков аварий, по ряду признаков можно разделить на следующие виды:

в зависимости от того, выражаются ли эти задачи в проведении определенных конкретных мероприятий или же связаны с изменением политики в сфере ядерной и радиационной безопасности, создания норм, правил и стандартов, действие которых предполагается на протяжении длительного времени, — на *оперативные* и *долгосрочные*;

в зависимости от общности — на *общие* задачи для энергоблока и АЭС в целом как совокупности различных систем, где ИУС является одной из систем АЭС, и задачи, касающиеся *непосредственно* и *только* ИУС АЭС.

### АЭС «Три Майл Айленд»

Причинами аварии на энергоблоке № 2 с потерей теплоносителя, приведшей к частичному расплавлению активной зоны, явились отказы оборудования (технологического оборудования и измерительных приборов), неправильные действия персонала как во время, предшествующее аварии, так и после ее начала [7, 11].

Выводы по данной аварии сразу же были сформулированы в отчете USNRC [12], где предлагались изменение системы подготовки персонала АЭС и создание планов действий на случай аварии.

Применительно к ИУС АЭС авария показала недостаточность имеющихся методов представления информации персоналу и вытекающую отсюда необходимость совершенствования блочных шитов управления АЭС. Оперативная задача, касающаяся непосредственно ИУС АЭС, заключалась в необходимости создания *системы представления параметров безопасности* (СППБ), основная функция которой — оказание помощи оператору в быстром определении аномальных эксплуатационных условий.

Преимущества в представлении информации с помощью СППБ:

\* Впрочем, эти два фактора являются определяющими не только для ИУС АЭС, но и для систем управления иными критическими объектами, например ракетно-космическими.

концентрация информации, распределенной на БЩУ, в одной системе;

возможность использования оператором ассоциативного мышления для принятия решений в стрессовых ситуациях;

предоставление оператору сведений о запасах изменений параметров до уставок срабатывания аварийных защит;

концентрация большого объема информации и, тем самым, упрощение и ускорение процесса восприятия информации.

Эти системы нашли применение в ряде стран, включая Украину. СППБ реализованы на всех 11 действующих энергоблоках ВВЭР-1000 при участии со стороны США Westinghouse Electric Co, US DOE, PNNL, а со стороны Украины — ООО «Вестрон» и Харьковского института комплексной автоматизации (табл. 1). Кроме того, СППБ при участии Westinghouse Electric Co, Parson Power Group Inc (США) и НИКИЭТ (Россия) в несколько иной модификации была установлена в 1999 году на энергоблоке № 3 Чернобыльской АЭС.

Таблица 1. Ввод СППБ в эксплуатацию на энергоблоках ВВЭР-1000 Украины

Наименование АЭС	№ энергоблока	Год ввода СППБ
Хмельницкая (ХАЭС)	1	1998
Ровенская (РАЭС)	3	1999
Южно-Украинская (ЮУАЭС)	1	1999
	2	2000
	3	2000
Запорожская (ЗАЭС)	1	2001
	2	2000
	3	2000
	4	2001
	5	1998
	6	2001

Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности провел работу по гармонизации требований к СППБ с действующей на момент начала реализации проекта украинской законодательной базой и выполнил государственную экспертизу ядерной и радиационной безопасности этих систем на всех указанных энергоблоках [13].

Отметим, что был выпущен международный стандарт МЭК [14], распространяющийся непосредственно на СППБ и согласованный с критериями для СППБ в отчете [12].

Вторая задача, следующая из этой аварии, — необходимость создания системы *послеаварийного мониторинга* (ПАМС). Ее назначение — контроль параметров и систем реакторной установки и защитной гермооболочки во время и после проектных и запроектных (включая тяжелые) аварий, а также обеспечение оперативного персонала и группы инженерно-технической поддержки информацией о значении контролируемых параметров.

После аварии на «Три Майл Айленд» такие системы начали создаваться в США. В 1981 году в США был издан стандарт IEEE-497 [15] (с последующими редакциями

этого документа в 2002 и 2010 годах), а US NRC подготовила документ с руководством по созданию ПАМС [16]. Однако в Украине работы по созданию ПАМС и разработке нормативных требований к ним начались только после аварии на АЭС «Фукусима-1», о чем говорится далее.

Впрочем, запаздывание имело место и в разработке международных требований, касающихся ПАМС. Создание объединенного стандарта МЭК/IEEE началось только после аварии на АЭС «Фукусима» и не закончилось до настоящего времени.

Тот факт, что одной из причин аварии на АЭС «Три Майл Айленд» была ненадежность датчиков (например, термометров сопротивления), свидетельствовал о необходимости изучения причин отказов датчиков и выработки рекомендаций по повышению их надежности [17]. Одной из вытекающих отсюда задач стало проведение онлайн-мониторинга состояния датчиков.

### Чернобыльская АЭС

*Оперативной задачей* после аварии на энергоблоке № 4, связанной с ИУС, являлось в первую очередь внесение изменений в СУЗ реакторов РБМК, что и было сделано. Учитывая закрытие ЧАЭС и отсутствие действующих реакторов такого типа в Украине с декабря 2000 года, не будем останавливаться подробно на этом вопросе.

*Общими и долгосрочными* задачами, вытекавшими из уроков аварии на ЧАЭС, явились изменение отношения общества в целом к безопасности АЭС, возникновение и практическая реализации таких понятий, как регулирование ядерной и радиационной безопасности, культура безопасности АЭС; формулирование и строгое исполнение технических и организационных принципов безопасности; существенное ужесточение требований к безопасности после аварии на ЧАЭС и др. В частности, для ИУС отсюда следовала необходимость обеспечения культуры безопасности на всех стадиях их жизненного цикла, включая нормирование безопасности ИУС (создание регулирующих документов, содержащих требования по ядерной и радиационной безопасности к ИУС), лицензирование ИУС (проведение государственных экспертиз ядерной и радиационной безопасности всех новых и модернизированных ИУС, важных для безопасности).

Требования к ИУС содержались как в нормативном документе с требованиями к АЭС и ее различным системам [18], так и в документе, касающемся только ИУС и их компонентов [19]. Последняя задача была реализована в 2000 году. Заметим, что регламентированный в НП 306.5.02/3.035–2000 [19] приоритет безопасности над экономическими и производственными целями, выразившийся, например, в требовании к обеспечению диверсности или независимости верификации программного обеспечения, вызвал поначалу ряд сложностей при согласовании этого документа, но позже эти предложения были приняты.

Документ [19] был гармонизирован с действующими к моменту издания стандартами МАГАТЭ и МЭК, учитывал тенденции развития компьютерной техники в ИУС АЭС и опыт ее применения в Украине.

Особенности НП 306.5.02/3.035–2000:

выделение в качестве объектов регулирования безопасности как систем (ИУС), так и их компонентов: программно-технических комплексов, технических средств автоматизации и программного обеспечения;

полная номенклатура регулирующих требований (например, впервые введенные требования к соблюдению принципа диверсности, набор требований к процессу создания и верификации программного обеспечения, к квалификации);

существенное ужесточение количественных значений в требованиях по стойкости к воздействию окружающей среды, к механическим воздействиям, включая сейсмике, к электрической изоляции, электромагнитной совместимости и др.\*

Нормативный документ [19] получил положительную оценку специалистов МАГАТЭ, США, Германии, Франции, России и других стран и определил направления развития ИУС АЭС в Украине на длительное время, вплоть до издания в 2015 году нового документа [20].

Следуя [19], организации Украины (ПАО «НПП «Радий», ЧАО «СНПО «Імпульс», ООО «Вестрон» и др.) осуществили разработку ИУС, изготовление и наладку технических средств и программного обеспечения, обучение персонала АЭС. Это обеспечило нужды ядерной отрасли Украины по модернизации ИУС для продления срока эксплуатации ряда энергоблоков, по модернизации устаревшего оборудования и на иных энергоблоках, по созданию новых энергоблоков — № 4 РАЭС и № 2 ХАЭС, позволило снизить уровень интенсивности нарушений в работе АЭС из-за ИУС.

Опыт создания ИУС, соответствующих требованиям [19], дал возможность приборостроительным предприятиям Украины выполнять поставки оборудования в ряд зарубежных стран (Канаду, Аргентину, Болгарию, Индию, Армению, Испанию, Чехию, ЮАР, Словакию и др.), конкурируя с ведущими зарубежными компаниями.

### АЭС «Фукусима-1»

Уроки аварии на АЭС «Фукусима-1» отличались от рассмотренных тем, что с первых дней после аварии рекомендации по повышению безопасности разрабатывались почти одновременно различными международными организациями.

Схема взаимодействия Государственной инспекции ядерного регулирования Украины (ГИЯРУ), включая ГНТЦ ЯРБ, с международными организациями и организациями Украины при рассмотрении уроков (ограничиваясь уроками, связанными с ИУС АЭС) аварии на АЭС «Фукусима-1» приведена на рис. 1.

В число таких организаций на рис. 1 включены международные организации МАГАТЭ, МЭК, WENRA

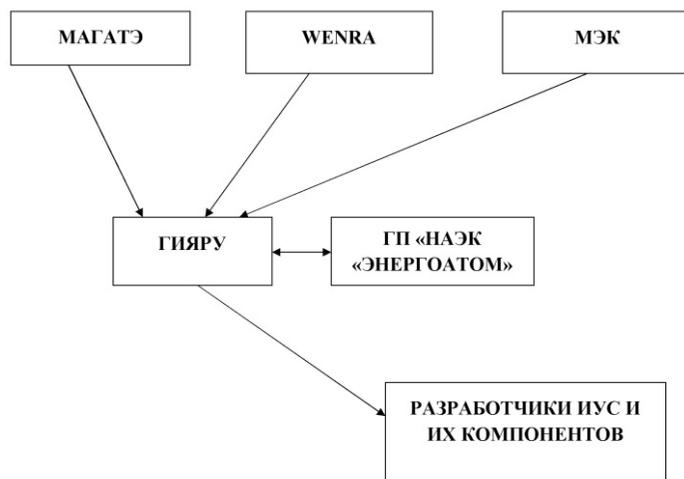


Рис. 1. Взаимодействие организаций при рассмотрении уроков аварии на АЭС «Фукусима-1» применительно к ИУС

(Европейская организация органов регулирования ядерной безопасности) и организации Украины: ГП «НАЭК «Энергоатом», в том числе ее обособленные подразделения (АЭС), а также разработчики ИУС АЭС и их компонентов.

Прежде чем говорить о связях с международными организациями, отметим, что ГИЯРУ начала работы по освоению уроков аварии на АЭС «Фукусима-1» во исполнение указа Президента Украины № 585/2011 от 12.05.2011.

**МАГАТЭ — ГИЯРУ.** В документах МАГАТЭ 2011 года [21, 22], а также в принятом после конференции на уровне министров плане действий МАГАТЭ по ядерной безопасности указана необходимость:

анализа безопасности действующих АЭС, включая оценку стойкости к внешним экстремальным воздействиям, что касается и технических средств ИУС, важных для безопасности;

ужесточения норм ядерной и радиационной безопасности (что касается и требований к важным для безопасности ИУС АЭС).

**WENRA — ГИЯРУ.** WENRA во исполнение решения Совета Европейского союза разработала программу целевой переоценки запасов безопасности действующих АЭС для европейских стран, включая Украину. Программа основана на всесторонней и открытой оценке риска путем стресс-тестов [23]. Под стресс-тестами понимаются дополнительные проверки, основанные на материалах проекта, на отчетах по анализу безопасности, выполненных исследованиях, экспертных оценках и инженерных допущениях с учетом более жестких воздействий и возможного наложения негативных факторов. Стресс-тесты были общими оперативными задачами, vyplывающими из уроков аварии на АЭС «Фукусима», с целью определения и реализации наиболее приоритетных превентивных и компенсирующих мероприятий для каждой площадки АЭС с учетом различий площадок и специфики различных типов энергоблоков.

Инициаторами событиями на площадках АЭС являются землетрясения, затопления, торнадо, предельно высокая и/или низкая температура, пожары, комбинация внешних воздействий. Очевидно, что стресс-тесты должны относиться и к техническим средствам ИУС АЭС.

**МЭК — ГИЯРУ.** В рамках соглашения между подкомитетом МЭК ТК45A Instrumentation and Control Systems

\* Впрочем, один из уроков аварии на Чернобыльской АЭС не был учтен в нормативном документе [19]. Для систем и компонентов, которые сохраняют данные о причинах возникновения и путях протекания аварий и/или участвуют в выполнении функций, необходимых для ликвидации их последствий, следует регламентировать требования по стойкости к внешним и внутренним воздействиям (падение тяжелых предметов из-за разрушения конструкций, ионизирующее излучение, заливание водой и растворами и т. п.), которые могут возникать при проектных и за-проектных авариях.

Прецедент, связанный с сохранением данных, имел место на ЧАЭС. Для хранения информации о контролируемых параметрах и состоянии основного оборудования во всех режимах работы, включая аварийные, использовалась ИВС «Скала». Данные накапливались на магнитофонах, находящихся в закрытом металлическом шкафу. В результате аварии помещение было разрушено, сверху лилась вода, уровень радиации был очень высоким, но, несмотря на тяжелейшие условия, информация на магнитофонных лентах, снятых через 2 часа после аварии, была сохранена и использована для дальнейшего анализа.

Указанные требования о сохранении информации были включены только в новый документ [20].

of Nuclear Facilities и подразделением МАГАТЭ Nuclear Safety Division в связи с аварией на АЭС «Фукусима» были рассмотрены предложения МАГАТЭ по переработке действующих стандартов МЭК и выпуску новых стандартов МЭК, относящихся к ИУС АЭС.

Приведенные рекомендации международных организаций учтены в Украине. Основными задачами для ИУС АЭС Украины в связи с этой аварией являлись:

- проведение стресс-тестов;
- переработка нормативных документов;
- совершенствование действующих и создание новых ИУС.

#### **«Стресс-тесты» (оперативные задачи)**

ГИЯРУ разработаны структура и содержание отчета по целевой переоценке безопасности АЭС и совместно с ГП «НАЭК «Энергоатом» проведена такая переоценка [23–25]. Некоторые предполагаемые направления переоценки для технических средств ИУС АЭС описаны в [9].

Наиболее существенным событием для ИУС АЭС являются землетрясения, превышающие проектный уровень. Переоценка стойкости к землетрясениям была содержанием сейсмической квалификации технических средств, включая внешние электрические и оптические линии.

Результаты сейсмической квалификации ИУС на АЭС Украины таковы: выполнен дополнительный анализ сейсмических воздействий во всех местах установки; подтверждены проектные сейсмические характеристики технических средств. Доказано, что оборудование ИУС, необходимое для выполнения функции безопасности, функционирует стабильно под влиянием проектных сейсмических воздействий и имеет необходимые запасы.

Требования к испытательным воздействиям устанавливались путем расчетов и/или моделирования спектров отклика строительных конструкций на сейсмические воздействия, возможные при землетрясениях, либо на основании обобщенных значений спектров отклика в местах предполагаемой установки оборудования.

При проведении стресс-тестов рассмотрены вопросы выполнения функций безопасности ядерного топлива в бассейне выдержки и перегрузки, важность которых подтверждается развитием аварии на энергоблоке № 4 АЭС «Фукусима-1». Определены параметры бассейна выдержки, требующие контроля (температура и давление).

Предметом анализа в стресс-тестах были также компоненты ИУС, чувствительные к предельно высоким и низким температурам. Такие температуры могут возникать после нарушения рабочих эксплуатационных условий в помещениях в течение некоторого времени (например, из-за неисправности кондиционеров).

Новые критические природные внешние воздействия или их комбинация не найдены в добавление к рассмотренным и проанализированным ранее в отчетах по анализу безопасности.

#### **Нормативные документы Украины (долгосрочные задачи)**

В 2015 году разработаны, утверждены и опубликованы «Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій» [20, 26]. В этом документе учтены уроки аварии

на АЭС «Фукусима-1», которые обусловили необходимость переоценки и ужесточения требований к безопасности ИУС и их компонентов, направленных, в частности, на уменьшение последствий от опасных событий, в том числе землетрясений, а также на сохранение данных, которые могут потребоваться во время управления аварией и/или ликвидации её последствий.

Отметим, что специалисты ДП «НАЭК «Энергоатом» и разработчики ИУС АЭС (ПАО «НПП «Радий», ЧАО «СНПО «Импульс», ООО «Вестрон») ознакомились с этим документом на стадиях его создания, задолго до утверждения (тем более что процесс согласования и утверждения был весьма длительным), и заранее начали применять более жесткие требования к ИУС, указанные в [20].

Документ МАГАТЭ [27], выпущенный в 2016 году, учитывает измененные после аварии на АЭС «Фукусима» требования к ИУС. Участие представителей ГНТЦ ЯРБ в его разработке дало возможность заранее гармонизировать требования документа ГИЯРУ [20] с документом МАГАТЭ [27].

Отметим, что ряд стандартов, связанных с уроками Фукусимы, разрабатывает МЭК ТК 45А, в частности [28, 29]. Предполагается в дальнейшем создание стандартов МЭК с требованиями к мониторингу бассейна выдержки отработавшего топлива и функциональными требованиями к аппаратуре для этого мониторинга, требованиями к аппаратуре для сейсмических измерений и др. Учёт этих стандартов необходим для АЭС Украины в будущем.

#### **Совершенствование действующих и создание новых ИУС (оперативные задачи)**

*Система послеварийного мониторинга (ПАМС).* Внедрение ПАМС проводится поочередно (начавшись с энергоблоков № 1, 2 ЮУАЭС и № 1, 2 ЗАЭС) и поэтапно:

этап 1 — монтаж программно-технического комплекса (ПТК) ПАМС, подключение ПТК к существующим смежным системам и аварийным контрольно-измерительным приборам (АКИП);

этап 2 — дооснащение ПАМС аварийными контрольно-измерительными приборами, квалифицированными для тяжелых аварий, реализация передачи информации в кризисные центры и систему «черный ящик».

Реализация ПАМС позволяет обеспечить персонал минимальным набором информации для управления аварией согласно внедряемым руководствам по управлению тяжелыми авариями (РУТА).

Структура ПАМС на энергоблоках различается: для энергоблоков №№ 1, 2 ЗАЭС (разработчик — ЧАО «СНПО «Импульс») — двухканальная, состоящая из двух независимых каналов ПТК ПАМС и двух комплектов оборудования АКИП; для энергоблоков № 1, 2 ЮУАЭС (разработчик — ООО «Вестрон») — трехканальная, состоящая из трех независимых каналов ПТК ПАМС и трех комплектов оборудования АКИП.

На начало 2016 года на энергоблоках №№ 1, 2 ЗАЭС и №№ 1, 2 ЮУАЭС ПАМС в части ПТК реализовано полностью, в части АКИП (в том числе АКИП, квалифицированных для тяжелых аварий) — частично.

Отметим, что на других энергоблоках АЭС Украины внедрение ПАМС должно выполняться в сроки, указанные в Комплексной (сводной) программе повышения уровня

безопасности энергоблоков атомных электростанций ДП «НАЭК «Энергоатом», согласованной с ГИЯРУ.

Поэтапное внедрение ПАМС включено в перечень мероприятий, реализация которых является условием продления эксплуатации энергоблоков в сверхпроектный срок.

*Система по сохранению работоспособности и обеспечению сохранения информации в условиях проектных и запроектных аварий («черный ящик»).* Система «черный ящик» предназначена для выполнения функций сбора, регистрации, хранения и предоставления доступа к информации о параметрах энергоблока в аварийных и послеаварийных условиях проектных и запроектных аварий.

Для энергоблоков АЭС Украины система «черный ящик» разработана в двух модификациях, отличающихся друг друга структурой построения и элементной базой.

Разработчик системы «черный ящик» для энергоблоков №№ 1, 2 ХАЭС, №№ 1–4 РАЭС, №№ 1, 2 ЗАЭС — ЧАО «СНПО «Импульс», а для энергоблоков №№ 1, 2 ЮУАЭС — ООО «Вестрон». На всех указанных энергоблоках система «черный ящик» находится в опытной или промышленной эксплуатации.

Выполнение подобных работ на энергоблоках, где указанные системы еще не внедрены, предусмотрено Комплексной (сводной) программой повышения уровня безопасности энергоблоков атомных электростанций ДП «НАЭК «Энергоатом», согласованной с ГИЯРУ.

#### ***Направления дальнейшей деятельности по усвоению уроков аварии на АЭС «Фукусима-1»***

Среди направлений дальнейшей деятельности по решению задач, vyplывающих из уроков аварии на АЭС «Фукусима», можно назвать следующие:

- создание аппаратуры (датчиков, преобразователей, кабелей, сетей передачи информации), квалифицированной для работы в аварийных условиях, в том числе в условиях высокой температуры, высокого давления, радиационного воздействия;

- создание аппаратуры для измерения параметров (давления, температуры, уровня, расходов) в поврежденном реакторе;

- создание датчиков, которые могут действовать без внешнего энергоснабжения, получая энергию за счет высокой температуры или вибрации в месте установки;

- обеспечение в исключительных случаях возможности измерения основных параметров реакторной установки аварийным персоналом по месту (переносное оборудование, робототехника и пр.);

- разработка требований к оценке соответствия ИУС новым требованиям по безопасности;

- применение беспроводных устройств.

Остановимся на идее внедрения беспроводных технологий на АЭС, которая в настоящее время становится все более популярной, более подробно.

Международная электротехническая комиссия разработывает новый стандарт IEC 62988 [29], который будет содержать требования к выбору и использованию беспроводных устройств на АЭС.

Применение беспроводных устройств (в том числе датчиков) дает ряд важных преимуществ:

- удешевление установки устройств за счет снижения расходов на покупку, обслуживание и замену кабелей;
- уменьшение количества кабельных линий связи;

- возможность размещения датчиков в таких местах, куда кабели проложить сложно либо невозможно;

- повышение надежности передачи данных за счет исключения потенциальной возможности повреждения кабелей (особенно в условиях аварии);

- повышение мобильности за счет возможности свободного перемещения беспроводных устройств.

Однако применение беспроводных технологий на АЭС обуславливает и ряд потенциальных проблем в части:

- обеспечения устойчивости беспроводных устройств к электромагнитным и радиочастотным помехам, а также предотвращению негативного влияния излучаемых ими радиочастотных сигналов на работу другого оборудования;

- реализации принципа независимости в многоканальных системах, который бы гарантировал, что отказ в одном канале не повлияет на работу других каналов;

- обеспечения компьютерной безопасности, что связано с потенциальной возможностью неавторизованного доступа к беспроводным каналам передачи данных извне для перехвата, блокирования, преднамеренного искажения передаваемых сигналов или выдачи ложных сигналов на принимающие устройства;

- обеспечения достаточно высоких временных характеристик при передаче данных;

- подачи электропитания на беспроводные устройства, что требует прокладки кабелей питания или использования сменных батарей (аккумуляторов);

- обеспечения необходимых зон покрытия сигнала, что усложняется наличием на энергоблоке АЭС большого числа экранирующих и отражающих радиосигнал преград (железобетонные стены и массивные металлические конструкции основного технологического оборудования);

- реализации интеграции беспроводного оборудования с существующими ИУС и сетями передачи данных.

В ряде случаев могут применяться устройства, получающие питание от батарей (аккумуляторов). Это возможно, если устройства имеют низкое энергопотребление и могут переходить в ждущий режим в промежутках между моментами, когда необходимо их срабатывание. Если же оборудование постоянно находится в режиме активной работы или имеет высокую частоту опроса, использование батарей для его питания неэффективно. Данный подход неприменим и в том случае, когда беспроводное устройство располагается в местах, к которым невозможен доступ для замены батарей при работе энергоблока АЭС на мощности.

С учетом наличия перечисленных проблем в проекте стандарта IEC 62988 [28] предусмотрено ограничение возможности применения беспроводных устройств только в системах, выполняющих функции категории С, согласно IEC 61226 [29]. Кроме того, беспроводные устройства, используемые в системах, выполняющих функции категории С, не должны негативно влиять на выполнение функций категорий А и В, выполняемых другими системами.

Несмотря на наличие таких ограничений, беспроводные устройства потенциально могут применяться в таких случаях:

- для резервирования и диверсности проводных датчиков;
- временной замены вышедших из строя проводных датчиков при невозможности их быстрой замены;
- мониторинга условий окружающей среды;
- мониторинга состояния оборудования с целью выявления дефектов и проведения упреждающего ремонта;

контроля положения регулирующих клапанов и задвижек;

контроля радиационной обстановки;  
послеаварийного мониторинга.

Подводя итоги, можно сказать, что применение беспроводных технологий на АЭС возможно, однако требует достаточной апробации, проработки вопросов обеспечения ядерной и радиационной безопасности и разработки соответствующей нормативной базы.

## Выводы

Реализация задач, следующих из уроков аварий на АЭС «Три Майл Айленд», Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», сыграла существенную роль в развитии ИУС АЭС Украины, повышении их безопасности, гармонизации требований к этим системам в соответствии с международными стандартами.

Необходимым условием дальнейшего развития и усовершенствования ИУС АЭС является наличие современной нормативной базы.

На АЭС Украины реализован большой объем работ по модернизации ИУС для учета уроков произошедших тяжелых аварий. Необходимо приложить усилия всех заинтересованных сторон для завершения ранее начатых работ и дальнейшего учета уроков аварии на АЭС «Фукусима-1».

## Список использованной литературы

1. Безопасность атомных станций. Авария на Чернобыльской АЭС: Опыт преодоления. Извлеченные уроки / А. В. Носовский, В. Н. Васильченко, А. А. Ключников, Б. С. Пристер. — К. : Техніка, 2006. — 264 с.
2. *INSAG-7*. Чернобыльская авария : дополнение к *INSAG-1*. Доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности. — Вена : МАГАТЭ, 1993. — 146 с. — (Серия изданий по безопасности).
3. *Баряхтар В. Г.* Чернобыльская катастрофа / В. Г. Баряхтар. — К. : Наук. думка, 1995. — 568 с.
4. Report by the Director General on Fukushima Daiichi Accident. STI / PUB/1710. [Электронный ресурс] — Режим доступа : [www.pub.iaea.org/books/IAEABooks/10962/The Fukushima Daiichi Accident](http://www.pub.iaea.org/books/IAEABooks/10962/The_Fukushima_Daiichi_Accident)
5. *Way Kuо.* Critical reflections on nuclear and renewal energy. — Wiley-Scrivener Publishing, 2014. — 174 p.
6. *Ястребенецкий М. А.* Некоторые уроки аварии на АЭС «Фукусима-1» для работ по безопасности различных технических отказов / М. А. Ястребенецкий // Тезисы докладов Междунар. конф. «Теория вероятностей и ее приложения», посвященной 100-летию со дня рождения Б. В. Гнеденко. Москва, 26–30 июня 2012 г. — М. : URSS, 2012. — С. 273.
7. Severe Nuclear Accidents : Lessons Learned for Instrumentation, Control and Human Factors. Electric Power Research Institute : Technical report. 3002005385, Palo Alto, CA, USA. 2012. — 344 p.
8. *Ястребенецкий М. А.* Автоматика АЭС Украины после Чернобыльской аварии / М. А. Ястребенецкий // Ядерна та радіаційна безпека. — 2011. — № 1. — С. 47–52.
9. Требования к информационным и управляющим системам АЭС Украины по результатам анализа аварии на АЭС Фукусима-1 / М. А. Ястребенецкий, Ю. В. Розен, Г. В. Громов, В. В. Инюшев, А. В. Носовский, М. Х. Гашев, Б. В. Столярчук // Ядерна та радіаційна безпека. — 2011. — № 4. — С. 3–10.
10. Fukushima Accident Lessons for I&C Systems / M. Yastrebenetsky, Y. Rozen, A. Klevtsov, S. Trubchaninov, V. Lebedinsky, V. Martinenko // American Nuclear Society. 8th International Topical Meeting on Nuclear Power Plant Instrumentation

and Control, and Human-Machine Interface Technologies (NPIC&HMIT-2012). — 2012. — P. 1371–1377.

11. *Самойлов О. Б.* Безопасность ядерных энергетических установок // О. Б. Самойлов, Г. Б. Усынин, А. М. Бахметьев. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 280 с.

12. *NUREG-0696*. Functional criteria for emergency response facilities. — US Nuclear Regulatory Commission, 1981. — 37 p.

13. Licensing Review of Foreign I&C Systems for Ukrainian Nuclear Power Plants / O. Brenman, R. Denning, R. Cybulskis, S. Vinogradskaiia, M. Yastrebenetsky // 6th International Topical Meeting on Nuclear Power Plant Instrumentation and Control, and Human-Machine Interface Technologies (NPIC&HMIT 2006). — 2006. — P. 643–648.

14. *IEC 60960:1988*. Functional design criteria for safety parameter display systems for nuclear power station. — 1988. — 26 p.

15. *IEEE Std 497-1981*. IEEE Standard Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Generating Stations / Institute of Electrical and Electronics Engineers. — USA, 1981. — 22 p.

16. Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Plants. — Revision 4. — 2006. — 10 p. — (U. S. Nuclear Regulatory Commission. Regulatory Guide 1.97).

17. *Hashemian H. M.* Sensors performance after the Tree Mile Island (TMI) accident. — IAEA, 2011. — 10 p.

18. *НП 306.1.02/1.034-2000*. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. — К. : Державна адміністрація ядерного регулювання України, 2000. — 60 с.

19. *НП 306.5.02/3.035-2000*. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. — К. : Державна адміністрація ядерного регулювання України, 2000. — 86 с.

20. *НП 306.2.202-2015*. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій // Офіційний вісник України. — 2015. — № 56. — С. 99–151.

21. IAEA International Fast Finding Expert Mission of The Nuclear Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami, 24 May–1 June, Preliminary Summary.

22. Заявление Конференции МАГАТЭ по ядерной безопасности на уровне министров. Вена, 20 июня 2011 года / Информ. циркуляр IAEA INFCIRC/821.

23. Вопросы целевой переоценки безопасности действующих энергоблоков АЭС Украины в свете событий на АЭС Фукусима-1 в Японии / М. Х. Гашев, Г. В. Громов, А. М. Дыбач, В. В. Инюшев, А. В. Носовский, С. Э. Шоломицкий // Ядерна та радіаційна безпека. — 2011. — № 3. — С. 3–8.

24. Результаты экспертной оценки стресс-тестов действующих энергоблоков АЭС Украины с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии / Г. В. Громов, А. М. Дыбач, О. В. Зеленый, В. В. Инюшев, А. В. Носовский, С. Э. Шоломицкий, А-й П. Шугайло, М. Х. Гашев, В. С. Бойчук // Ядерна та радіаційна безпека. — 2012. — № 1. — С. 3–9.

25. План дій щодо впровадження на АЕС України заходів з підвищення безпеки за результатами стресс-тестів / В. С. Бойчук, М. Х. Гашев, О. А. Миколайчук, Г. В. Громов, О. М. Дибач, О. І. Жабін, Д. В. Воронцов, Д. І. Рижов, В. В. Інюшев, А. В. Носовський, С. Е. Шоломицький // Ядерна та радіаційна безпека. — 2013. — № 2. — С. 3–7.

26. *Розен Ю. В.* Новые нормативные документы, регламентирующие требования к информационным и управляющим системам, важным для безопасности АЭС / Ю. В. Розен, М. А. Ястребенецкий // Ядерна та радіаційна безпека. — 2014. — № 2 (62). — С. 50–64.

27. *IAEA. SSG-39* (2016). Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants, — 161 p.

28. *IEC 62954*. Nuclear power plants- Control rooms- Requirements to emergency response facilities.- Draft.

29. *IEC 62988*. Nuclear power plants — Instrumentation and control systems important to safety — Selection and use of wireless devices. — Draft.

30. *IEC 61226-2009*. Ed. 3. Nuclear power plants— Instrumentation and control important to safety — Classification of instrumentation and control functions. — 2009. — 64 p.

## References

1. *Nosovsky, A.V., Vasilchenko, V.N., Kliuchnikov, A.A., Prister, B.S.* (2006), "Nuclear Power Plant Safety. Chernobyl Nuclear Power Plant Accident: Coming over the Consequences and Lessons Learned" [Bezopasnost atomnykh stantsiy. Avariia na Chernobyl'skoy AES: Opyt preodoleniia. Izvlechionnyie uroki], Kyiv, Tekhnika, 264 p. (Rus)
2. IAEA Safety Series, No. 75-INSAG-7 (1992), INSAG-7, The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1. A Report by the International Nuclear Safety Advisory Group, International Atomic Energy Agency, Vienna, 135 p. (IAEA Safety Series, ISSN 0074-1892; No. 75-INSAG-7), ISBN 92-0-104692-8.
3. *Bariakhtar, V.G.* (1995), "The Chernobyl accident" [Chernobyl'skaia katastrofa], Kyiv, Naukova Dumka, 568 p. (Rus)
4. IAEA Non-Serial Publication, Report by the Director General on Fukushima Daiichi Accident, ISBN:978-92-0-107015-9, 1264 p.
5. *Way, Kuo* (2014), "Critical Reflections on Nuclear and Renewable Energy, Environmental Protection and Safety in the Wake of the Fukushima Nuclear Accident", John Wiley&Sons, 208 p.
6. *Yastrebenetsky, M. A.* (2012), "Some Lessons Learnt from Fukushima-1 Accident for Activities on Safety of Various Technical Failures" [Nekotoryie uroki avarii na AES "Fukusima-1" dlia rabot po bezopasnosti razlichnykh tekhnicheskikh otkazov], International Conference "Probability Theory and its Applications" In Commemoration of the Centennial of B.V.Gnedenko, Moscow, URSS, p. 273. (Rus)
7. Severe Nuclear Accidents: Lessons Learned for Instrumentation, Control and Human Factors. Electric Power Research Institute, Technical report, 3002005385, Palo Alto, CA, USA, 2012, 344 p.
8. *Yastrebenetsky, M. A.* (2011), "Automation of Ukrainian NPPs after the Chernobyl Accident" [Avtomatika AES Ukrainy posle Chernobyl'skoy avarii], Nuclear and Radiation Safety, No. 1 (49), pp. 47–52. (Rus)
9. *Yastrebenetsky, M.A., Rozen, Yu.V., Gromov, G.V., Inyushev, V.V., Nosovskiy, A.V., Gashev, M.Kh., Stoliarchuk, B.V.* (2011), "Requirements for Instrumentation and Control Systems of Ukrainian NPPs Following Analysis of the Fukushima-1 Accident" [Trebovaniia k informatsionnym i upravliaiushchim sistemam AES Ukrainy po rezul'tatam analiza avarii na AES Fukusima-1], Nuclear and Radiation Safety, No. 4 (52), pp. 3-10. (Rus)
10. *Yastrebenetsky, M., Rozen, Yu., Klevtsov, A., Trubchaninov, S., Lebedinsky, V., Martinenko, V.* (2012), Fukushima Accident Lessons for I&C Systems, American Nuclear Society, 8th International Topical Meeting on Nuclear Power Plant Instrumentation and Control, and Human-Machine Interface Technologies (NPIC&HMIT), pp. 1371-1377.
11. *Samoylov, O.B., Usynin, G.B., Bakhmetiev, A.M.* (1989), "Nuclear Power Plant Safety" [Bezopasnost yadernykh energeticheskikh ustanovok], Moscow, Energoatomisdat, 280 p. (Rus)
12. US Nuclear Regulatory Commission. NUREG-0696. Functional Criteria for Emergency Response Facilities, 1981, 37 p.
13. *Brennan, O., Denning, R., Cybulskis, R., Vinogradskaya, S., Yastrebenetsky, M.* (2006), "Licensing Review of Foreign I&C Systems for Ukrainian Nuclear Power Plants, 6th International Topical Meeting on Nuclear Power Plant Instrumentation and Control, and Human-Machine Interface Technologies (NPIC&HMIT)", pp. 643-648.
14. IEC 60960 (1988), "Functional Design Criteria for Safety Parameter Display Systems for Nuclear Power Station, International Electrotechnical Commission", Geneva, 26 p.
15. IEEE Std 497 (1981), "IEEE Standard Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Generating Stations", Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA, 22 p.
16. Regulatory Guide, 1.97 (2006), "Criteria for Accident Monitoring Instrumentation for Nuclear Power Plants", U.S. Nuclear Regulatory Commission, Revision 4, 10 p.
17. *Hashemian, H.M.* (2011), "Sensors Performance after the Three Mile Island (TMI) Accident", International Atomic Energy Agency, 10 p.
18. NP 306.1.02/1.034 (2000), "General Safety of Nuclear Power Plants" [Obshchie polozeniia obespecheniia bezopasnosti atomnykh stantsiy], State Nuclear Regulatory Administration of Ukraine, Kyiv, 60 p. (Rus)
19. NP 306.5.02/3.035 (2000), "Requirements for Nuclear and Radiation Safety of Instrumentation and Control Systems Important to NPP Safety" [Trebovaniia po yadernoy i radiatsionnoi bezopasnosti k informatsionnym i upravliaiushchim sistemam, vazhnyim dlia bezopasnosti atomnykh stantsiy], State Nuclear Regulatory Administration of Ukraine, Kyiv, 86 p. (Rus)
20. NP 306.2.202 (2015), "Nuclear and Radiation Safety Requirements for I&C Systems Important to NPP Safety" [Vymohy z yadernoy ta radiatsionnoi bezpeky do informatsionnykh i keruiuchykh system, vazhlyvykh dlia bezpeky atomnykh stantsiy], Official Bulletin of Ukraine, Kyiv, No. 56, pp. 99-151. (Ukr)
21. IAEA International Fast Finding Expert Mission of The Nuclear Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami, Tokyo, Japan, 2011, 160 p.
22. IAEA Information Circular, INF/CIRC/821 (2011), "Declaration by the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety", Vienna, 3 p. (IAEA Information Circular INF/CIRC/821).
23. *Gashev, M.Kh., Gromov, G.V., Dybach, A.M., Inyushev, V.V., Nosovsky, A.V., Sholomitsky, S.E.* (2011), "Targeted Safety Reassessment of Operating Ukrainian NPPs in the Light of the Fukushima-1 Accident in Japan" [Voprosy tselevoi pereotsenki bezopasnosti deistvuiushchikh energoblokov AES Ukrainy v svete sobytii na AES Fukusima-1 v Yaponii], Nuclear and Radiation Safety, No. 3, pp. 3-8. (Ukr)
24. *Gromov, G.V., Dybach, A.M., Zelenyi, O.V., Inyushev, V.V., Nosovsky, A.V., Sholomitsky, S.E., Shugailo, A.P., Gashev, M.Kh., Boichuk, V.S.* (2012), "Results from Review of Stress Tests for Operating NPPs of Ukraine in the Light of the Fukushima-1 Accident in Japan" [Rezul'taty ekspertnoi otsenki stress-testov deistvuiushchikh energoblokov AES Ukrainy s uchiutom urokov avarii na AES "Fukusima-1" v Yaponii], Nuclear and Radiation Safety, No. 1 (53), pp. 3-9. (Rus)
25. *Boichuk, V.S., Gashev, M.Kh., Mykolaichuk, O.A., Gromov, G.V., Dybach, O.M., Zhabin, O.I., Vorontsov, D.V., Ryzhov, D.I., Inyushev, V.V., Nosovsky, A.V., Sholomitsky, S.E.* (2013), "Action Plan on Implementation of Safety Improvement Measures Following Stress Tests at Ukrainian NPPs" [Plan dii shchodo vprovadzhennia na AES Ukrainy zakhodiv z pidvyshchennia bezpeky za rezul'tatamy stress-testiv], Nuclear and Radiation Safety, No. 2 (58), pp. 3-7. (Ukr)
26. *Rozen, Yu.V., Yastrebenetsky, M.A.* (2014), "New Regulatory Documents with Requirements for Instrumentation and Control Systems Important to NPP Safety" [Novyie normativnye dokumenty, reglamentiruiushchie trebovaniia k informatsionnym i upravliaiushchim sistemam, vazhnyim dlia bezopasnosti AES], Nuclear and Radiation Safety, No. 2 (62), pp. 50-64. (Rus)
27. Specific Safety Guide, SSG-39 (2016), "Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants", International Atomic Energy Agency, Vienna, 161 p.
28. IEC 62954, Nuclear Power Plants – Control Rooms - Requirements for Emergency Response Facilities (Draft). International Electrotechnical Commission, Geneva.
29. IEC 62988, Nuclear Power Plants – Instrumentation and Control Systems Important to Safety – Selection and Use of Wireless Devices (Draft), International Electrotechnical Commission, Geneva.
30. IEC 61226 (2009), Nuclear Power Plants – Instrumentation and Control Important to Safety – Classification of Instrumentation and Control Functions, Ed.3, International Electrotechnical Commission, Geneva, 64 p.

Получено 25.04.2016.