

## Автоматика АЭС Украины после Чернобыльской аварии

*Приведены основные факторы, способствовавшие развитию автоматики АЭС Украины после 1986 г. Период времени после аварии на Чернобыльской АЭС разделен на три этапа: 1986–1991, когда продолжалось внедрение типового проекта АСУТП энергоблоков ВВЭР-1000; 1992–2000, когда в Украине формировалась система регулирования ядерной и радиационной безопасности; 2001–2010, когда был разработан и внедрен ряд новых цифровых информационных и управляющих систем отечественной разработки. Указаны основные задачи, связанные с автоматикой АЭС.*

*Ключевые слова:* АЭС, автоматика, информационно-управляющая система, программно-технические комплексы, безопасность.

М. О. Ястребенецкий

### Автоматика АЕС України після Чорнобильської аварії

*Наведено основні фактори, що сприяли розвитку автоматики АЕС України після 1986 р. Час після аварії на Чорнобильській АЕС розділено на три етапи: 1986–1991, коли тривало впровадження типового проекту АСУТП енергоблоків ВВЕР-1000; 1992–2000, коли в Україні формувалася система регулювання ядерної та радіаційної безпеки; 2001–2010, коли була розроблена й впроваджена низка нових цифрових інформаційних і керуючих систем вітчизняної розробки. Зазначено основні задачі, пов'язані з автоматикою АЕС.*

*Ключові слова:* АЕС, автоматика, інформаційно-керуюча система, програмно-технічні комплекси, безпека.

© М. А. Ястребенецкий, 2011

**А**нализируя изменения, которые происходили в информационных и управляющих системах (далее сокращенно называемых автоматикой) АЭС Украины за 25 лет, прошедших после Чернобыльской аварии, укажем сначала основные факторы, способствовавшие этим изменениям.

Во-первых, Чернобыльская авария изменила отношение к безопасности АЭС во всем мире. Принципиально иными стали взгляды на культуру безопасности, на регулирование ядерной и радиационной безопасности. Украина оказалась в центре внимания мировой общественности во всех аспектах, связанных с АЭС, включая автоматику, что выразилось как в методической помощи специалистам АЭС, регулирующему органу, проектным и исследовательским организациям Украины со стороны МАГАТЭ и ряда стран — США, Германии, Франции и др., так и поставках (зачастую бесплатных) зарубежной автоматики на АЭС Украины.

Вторым фактором явилось бурное развитие информационных технологий и компьютерной техники во всем мире и в разных сферах применения, в частности на АЭС. Использование цифровой вычислительной техники и новых информационных технологий вызвали существенные изменения в автоматике АЭС:

переход от аналогового управления к цифровому;  
использование распределенной структуры с применением локальных вычислительных сетей для обмена информацией;

замену аналоговых приборов цифровыми на щитах управления;

выполнение сложных вычислений на базе микропроцессорной техники;

существенное улучшение интерфейса с персоналом благодаря широкому использованию графического отображения и улучшению качества устройств отображения информации;

высокий уровень самодиагностики и диагностики периферийного оборудования;

применение оптико-электронных каналов связи;  
реализацию функции представления параметров безопасности и др.

Центральная часть большинства систем разрабатывалась и внедрялась с помощью программно-технических комплексов (ПТК) — совокупности технических средств автоматизации, поставляемых в комплекте с программным обеспечением, сервисным оборудованием и эксплуатационной документацией, которые соединялись на месте эксплуатации с периферийным оборудованием и (или) другими ПТК для выполнения всех функций (или их части) в составе конкретной информационной или управляющей системы (ИУС). ПТК поставлялись на АЭС полностью собранными, отлаженными и проверенными в заводских условиях, что существенно повысило степень заводской готовности, упростило и ускорило монтажно-наладочные операции перед пуском энергоблока.

Третьим фактором можно считать существенные изменения требований к автоматике как в международных документах МАГАТЭ и международной электротехнической комиссии (МЭК), так и в национальных документах Украины.

Наконец, четвертый фактор связан с конверсией после 1991 г. ряда приборостроительных предприятий Украины, их переходом на разработку и выпуск автоматики АЭС вместо систем управления военной техникой (например, ракетами-носителями ядерными боеголовками).

Историю развития автоматики АЭС Украины после Чернобыльской аварии можно разделить на *несколько этапов*.

**1986–1991.** До Чернобыльской аварии в Украине помимо энергоблоков РБМК-1000 уже функционировали два энергоблока ВВЭР-440, два энергоблока ВВЭР-1000 с реакторами моделей В-302 и В-338 и два энергоблока ВВЭР-1000 с реакторами модели В-320, построенными по типовому проекту, разработанному впервые для энергоблока № 1 Запорожской АЭС. На базе этого проекта в дальнейшем сооружались все остальные энергоблоки ВВЭР-1000 в Украине, России и Болгарии.

Участие организаций Украины в разработке автоматики этих энергоблоков заключалось в создании системы управления турбиной (ПО «Монолит», в настоящее время — Харьковский приборостроительный завод им. Т. Г. Шевченко), информационно-вычислительной системы энергоблока (Северодонецкое НПО «Импульс» совместно с Харьковским филиалом Центрального научно-исследовательского института комплексной автоматизации — ЦНИИКА), а также в изготовлении различных приборов (заводы «Львовприбор», «Термоприбор», «Мукачевприбор»). Все системы управления реактором разрабатывались и изготавливались в России.

Многие из недостатков типового проекта были ясны уже сразу при пуске энергоблока № 1 ЗАЭС, в связи с чем немедленно выполнен ряд мероприятий по модернизации автоматики (например, усовершенствование блоков универсального комплекса технических средств — УКТС, которые впервые были внедрены на этом энергоблоке и вызывали наибольшие опасения\*).

Основными недостатками автоматики действовавших в Украине энергоблоков ВВЭР-1000 (как и ВВЭР-440) являлись:

- недостаточная надежность технических средств\*\*;
- неудовлетворительная диагностика технического и программного обеспечения;
- низкая пожаробезопасность;
- неполное удовлетворение требованиям по сейсмостойчивости;
- отсутствие систем информационной поддержки персонала;
- громоздкость, большое количество шкафов, что требовало значительных трудозатрат персонала, и др.

Отметим также существенные недостатки нормативной базы, относящиеся к автоматике АЭС, которая разрабатывалась организациями различных министерств и ведомств по разным принципам и имела множество противоречий, начиная с определения основных понятий и заканчивая конкретными качественными и количественными требованиями к параметрам и характеристикам. Требования к системам часто не были увязаны с требованиями к их компонентам.

Принятые в типовом проекте принципы построения, архитектура ИУС и разработанное для них оборудование основывались на возможностях советской промышленнос-

\* Вспоминаю недобрую шутку, которая имела место при монтаже УКТС на энергоблоке № 1 ЗАЭС: «На УКТС мы блок пустим, а вот сумеем ли его остановить?»

\*\* Разработчикам автоматики приходилось решать классическую задачу, поставленную ещё Дж. Фон Нейманом — «синтез надежной системы из ненадежных элементов», что достигалось усложнением структуры, необходимостью введения дополнительной избыточности.

ти первой половины 80-х годов прошлого столетия, однако уже тогда они не соответствовали уровню развития зарубежной техники. К тому же нормативные документы СССР, использованные при проектировании и разработке, не отражали всех требований действовавших в то время международных стандартов ядерной и радиационной безопасности. Поэтому после реализации типового проекта на первых энергоблоках с реакторной установкой модели В-320 предполагалось в качестве следующего шага создание так называемой перспективной АСУТП для атомных энергоблоков, строящихся и проектируемых в СССР. Её основы закладывались специалистами Института проблем управления АН СССР, ЦНИИКА\*, Института атомной энергии им. И. В. Курчатова (ИАЭ), ВНИИАЭС, «Атомтеплопроект» и других организаций. Были разработаны и утверждены «Основные технические требования к АСУТП АЭС с реакторами ВВЭР-1000», выпущено техническое задание на создание перспективной системы, началась разработка проекта. Предполагалось применение общих для всей АСУТП системных принципов, архитектурных решений и интерфейсов, максимально возможная унификация элементарно-конструктивной базы, технических средств и программного обеспечения; широкое использование больших интегральных схем и микропроцессоров отечественного производства.

**1992–2000.** После распада СССР основные научные организации в области автоматики АЭС и большая часть разработчиков этих систем находились в России (ИАЭ, ВНИИАЭС, СНИИП, ВНИИЭМ, Гидропресс и др.). Опыта разработки систем управления реактором в Украине не было. ХИЭП, КИЭП имели в своем составе отделы автоматизации.

Численность специалистов Юго-Западного округа Госатомэнергонадзора (ГАЭН) СССР была невелика. Нормативные документы и принципы регулирующей деятельности разрабатывались в центральном аппарате ГАЭН и в его научно-техническом центре.

Отсутствовали запасные части для аппаратуры, изготовленной предприятиями Грузии, Узбекистана, Армении и других союзных республик СССР, которые после распада СССР перестали выпускать продукцию для АЭС.

Работы по созданию перспективных АСУТП прекратились.

В этот период модернизация автоматики в Украине основывалась на оборудовании зарубежных фирм. Системы, изготовленные «Вестингауз» (США), и по сей день успешно эксплуатируются на АЭС Украины. Успешность внедрения этого оборудования обязана совместному созданию в Украине компанией «Вестингауз» и «Хартрон» предприятия, получившего название «Вестрон» по имени своих создателей и участвовавшего в разработке и внедрении этих систем.

В то же время Ровенская АЭС имела негативный опыт эксплуатации систем французской фирмы «Сезека», которые впоследствии пришлось заменить. После многолетних переговоров с немецкой фирмой «Сименс» Ровенская АЭС отказалась от поставок ее аппаратуры. Общей проблемой при использовании зарубежного оборудования стали

\* Включая работы Харьковского филиала ЦНИИКА, например, разработку нормативного документа, содержащего требования к надежности АСУТП АЭС [1] и оценку надежности систем, входящих в перспективную АСУТП АЭС.

неоперативность решения вопросов, возникающих при эксплуатации, и необходимость на протяжении многих лет получать запасные части, произведенные зарубежными фирмами.

В качестве одной из задач регулирования безопасности в это время стояла разработка процесса лицензирования систем, созданных зарубежными компаниями по их национальным стандартам, которые нужно было координировать с требованиями Украины. В итоге зарубежная автоматика была разработана, изготовлена, испытана и внедрена с учетом требований Украины и международных стандартов [2].

Еще одна проблема заключалась в истечении срока службы части аппаратуры автоматики, поскольку возможности ее замены или модернизации в то время не было. Вопрос продления срока эксплуатации находился в центре внимания регулирующего органа Украины с момента его создания и еще в 1994 г. рассматривался на коллегии Госатомнадзора Украины. Во исполнение принятого решения о разработке регулирующих требований к порядку продления срока эксплуатации оборудования АЭС был выпущен нормативный документ [3], в основе которого лежала необходимость анализа тренда параметра потока отказов для выявления тенденции к снижению надежности.

Документ [3] был переработан в 2003 г. [4]. В соответствии с [3] и [4] на всех АЭС Украины была проанализирована возможность продления ресурса незамененных или немодернизированных технических средств.

На этом этапе разработкой автоматики для АЭС благодаря конверсии стали заниматься предприятия военно-промышленного комплекса Украины. Так, крупнейшее в Украине научно-производственное объединение «Хартрон», разрабатывающее ранее системы управления межконтинентальных баллистических ракет и ракет-носителей космических аппаратов, начало создавать АСУТП АЭС. Данная АСУТП, продолжающая упомянутую выше перспективную АСУТП, не была доведена до завершения, однако опыт работ по ее созданию в дальнейшем использовался «Вестрон» и иными подразделениями «Хартрон» для разработки автоматики АЭС.

Второй пример — завод «Радий» (г. Кировоград), участвовавший в разработке и поставке оборудования запуска ракетно-космических систем. С 1995 г. «Радий» (ныне — научно-производственное объединение) производит оборудование для АЭС, начав с создания нового поколения УКТС с цифровой обработкой сигналов для повышения помехоустойчивости.

**2001–2010.** В этот период в Украине разработан и внедрен на АЭС ряд новых, как правило, цифровых ИУС, основанных на новых информационных технологиях и базирующихся на современной элементной базе. Эти системы использованы при модернизации действующих систем и для оснащения двух новых энергоблоков — № 2 Хмельницкой АЭС и № 4 Ровенской АЭС, принятых в эксплуатацию в 2004 г.

Действующие системы модернизировались согласно «Программе НАЭК «Энергоатом» проведения поузловой замены подсистем АСУТП энергоблоков ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 на 2000–2006 гг.», продолженной на 2007–2010 гг. В Украине был принят путь развития, направленный не на покупку зарубежного оборудования или патентов, а на собственные разработки. К настоящему времени, в отличие от ряда иных видов оборудования

АЭС, Украина практически полностью покрывает свои нужды в автоматике.

Впервые в практике АЭС Украины был реализован требуемый принцип диверсности (разнообразия) для аварийной защиты (ранее примененный на АЭС Temelin 1, 2 (Чехия), Sizewell-B (Великобритания)), а также для систем автоматического регулирования реакторного отделения (САР РО).

Для аварийной защиты аппаратная диверсность реализована за счет различия элементной базы, использованной в первом (основном) и втором (диверсном) комплекте, что устраняет общую причину отказов, вызванную возможными ошибками при разработке и (или) дефектами изготовления покупных комплектующих изделий — как показывает опыт, они представляют в настоящее время наиболее реальную опасность. Для САР РО диверсность обеспечена использованием двух версий программного обеспечения: версии под операционную систему QNX, разработанной ЛьвовОРГРЭС, и версии под операционную систему СИНТАР-3, разработанной ХГПЗ им. Шевченко.

Если элементная база автоматики АЭС, созданной в СССР, уступала по качеству зарубежной, то в новых системах используется элементная база с лучшими характеристиками от зарубежных поставщиков, зарекомендовавших себя на мировом рынке. Так, НПП «Радий» для реализации функций аварийной и предупредительной защиты применяет программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) фирмы «Altera» с повышенной степенью интеграции, высоким быстродействием, малой потребляемой мощностью, высокой гибкостью. В отличие от программируемых средств вычислительной техники, ПЛИС достаточно просто тестируются, что снижает риск отказов по общей причине. К отличительным свойствам можно добавить и возможность применения новых программных средств ведущих мировых разработчиков.

Как это и принято в современной мировой практике, в новых системах нашли широкое применение коммерческие изделия, разработанные для общего применения, а не специально для АЭС, и имеющиеся на рынке (Commercial Off The Shelf-COTS). К коммерческим изделиям относятся как технические (например, мониторы), так и программные средства.

При создании новых цифровых управляющих систем сохранялись, по возможности, апробированные проектные технологические алгоритмы управления, используемые на иных действующих энергоблоках ВВЭР. Некоторые изменения алгоритмов обуславливались отличиями технического оборудования. Например, в поставочных комплектах ПТК АЗ-ПЗ, разработанных и изготовленных для новых энергоблоков, имелись незначительные различия в диапазонах измерения принимаемых этими комплексами входных сигналов от датчиков и в значениях уставок срабатывания защит. Кроме того, в связи с более широкими возможностями цифрового регулирования, повышающими качество регулирования и обеспечивающими всережимность, при замене аналоговых регуляторов цифровыми определенными изменения вносились в алгоритмы автоматических регуляторов.

К настоящему времени между отечественными производителями современной автоматики, включая системы для управления реактором, которые ранее в Украине не выпускались, возникла конкуренция. Создание новейшей отечественной автоматики АЭС позволило украинским производителям выйти на международный рынок



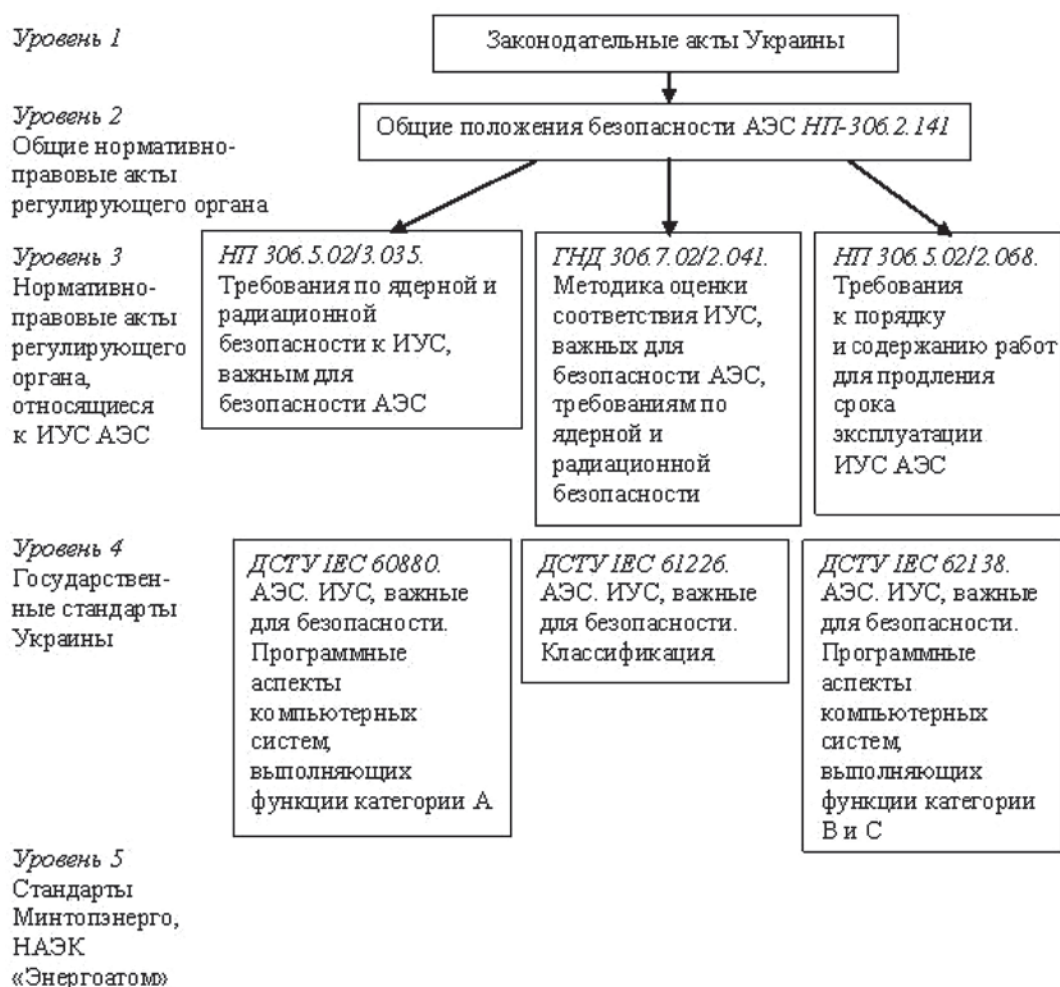


Рис. 1. Пирамида документов, содержащих требования для регулирования безопасности управляющих систем АЭС

с конкурентоспособной аппаратурой, соответствующей жестким требованиям международных стандартов по безопасности АЭС. Так, НПП «Радий» поставило 6 комплектов управляющих систем безопасности на АЭС «Козлодуй» (Болгария); СНПО «Импульс» и Харьковский институт комплексной автоматизации — ИВС для Волгодонской и Балаковской АЭС в России; Харьковский приборостроительный завод им. Т. Г. Шевченко — системы управления турбиной для АЭС Индии и ряда АЭС России; ООО «Вестрон» — аппаратуру для АЭС Армении, Испании, Чехии и др.

Существенную роль в повышении технического уровня автоматики АЭС сыграло государственное регулирование ядерной и радиационной безопасности.

Регулирование безопасности применительно к компьютерным системам потребовало проведения ряда научно-исследовательских работ, к которым, в частности, относились:

анализ особенностей ПТК как новых объектов оценки и обеспечения безопасности АЭС;

разработка требований к системам и их компонентам (техническим средствам, программному обеспечению, ПТК) по критериям ядерной и радиационной безопасности;

разработка методов проверки соответствия цифровых систем и их компонентов требованиям по ядерной и радиационной безопасности;

развитие теории функциональной безопасности и др.

Государственный комитет ядерного регулирования Украины в 2000 г. утвердил и ввел в действие разработанный ГНТЦ ЯРБ нормативный документ «Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций» [5]. В этом документе проведена гармонизация с международными стандартами МАГАТЭ и МЭК, действовавшими к моменту разработки (и даже с определенным опережением в отношении тех стандартов, которые только разрабатывались), сформулированы для систем управления АЭС требования к программному обеспечению, принципу разнообразия (диверсности) выполнения наиболее ответственных функций и др. Все новые и модернизируемые ИУС на АЭС Украины и на внешнем рынке, начиная с 2000 г., выполнены с учетом требований [5]. Успешному внедрению этих систем способствовали жесткость и тщательность оценки их соответствия требованиям указанного документа. Действующая структура нормативных документов, относящихся к автоматике АЭС, дана на рис. 1.

В настоящее время проводится пересмотр документа [5] для его гармонизации с вновь вышедшими нормативными документами Украины и новыми стандартами МАГАТЭ и МЭК.

В соответствии с национальным законодательством Государственный комитет ядерного регулирования лицензирует деятельность, связанную с созданием и модернизацией

систем управления АЭС. Одним из этапов лицензирования является оценка безопасности с целью обоснования возможности и определения условий выдачи разрешения на выполнение каждого этапа работы. Такую оценку дает ГНТЦ ЯРБ, проводя государственные экспертизы ядерной и радиационной безопасности ИУС всех вновь разрабатываемых и модернизируемых систем управления АЭС. ГНТЦ ЯРБ подготовлено уже более 700 экспертных заключений, относящихся ко всем важным для безопасности системам управления всех энергоблоков АЭС Украины.

По итогам работ, касающихся анализа безопасности ИУС в АЭС, в 2001–2002 гг. в журнале «Ядерная и радиационная безопасность» был опубликован цикл статей сотрудников ГНТЦ ЯРБ под общим названием «Нормирование и оценка безопасности информационных и управляющих систем АЭС», которые легли в основу книги «Безопасность атомных станций: информационные и управляющие системы» [6] — первой монографии, посвященной вопросам безопасности АЭС применительно к автоматике. Эта книга в 2007 г. переведена на английский язык Комиссией по ядерному регулированию США (US Nuclear Regulatory Commission) и стала первой в серии книг с общим названием «Безопасность атомных станций», подготовленных сотрудниками ГНТЦ ЯРБ (ряд из них — со специалистами НАН Украины и других организаций) и рассматривающих широкий круг вопросов, относящихся к ядерной и радиационной безопасности АЭС.

Госатомрегулирование, ГНТЦ ЯРБ, Минтопэнерго Украины, НАЭК «Энергоатом», Национальная академия наук Украины проводят в Харькове международные научно-технические конференции «Информационные и управляющие системы АЭС: аспекты безопасности» (первая конференция — 2003 г., вторая — 2005 г., третья — 2007 г., четвертая — 2010 г.), на которых специалисты Украины, США, России, Германии, Чехии, Норвегии, Болгарии и других стран обсуждают насущные вопросы развития автоматике АЭС.

**Основные задачи**, стоящие перед атомной энергетикой Украины и непосредственно связанные с автоматикой АЭС:

- повышение безопасности АЭС;
- повышение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ);
- достижение оптимально возможного срока службы энергоблоков;
- подготовка к сооружению новых энергоблоков (№№ 3 и 4 Хмельницкой АЭС).

Показателем, характеризующим влияние автоматике на безопасность АЭС, является интенсивность потока нарушений в работе энергоблока вследствие неправильного функционирования автоматике. Анализ статистических данных, полученных по всем энергоблокам Украины в течение 1996–2010 гг., показал, что интенсивность потока нарушений имеет тенденцию к снижению, что коррелируется с общими данными по уменьшению во времени числа нарушений энергоблоков из-за всех причин.

Повышение безопасности АЭС благодаря модернизации какого-либо определенного типа систем можно характеризовать изменением интенсивности потока нарушений в работе энергоблока вследствие неправильного их функционирования: например, для проектных систем группового и индивидуального управления органами ре-

гулирования статистическая оценка этого показателя равна  $0,13$  (год·энергоблок)<sup>-1</sup>, а для модернизированных систем —  $0,077$  (год·энергоблок)<sup>-1</sup>, что подтверждает целесообразность модернизации с точки зрения безопасности.

Коэффициент использования установленной мощности энергоблоков АЭС Украины имеет тенденцию к повышению, однако существенно уступает достигнутому на некоторых зарубежных энергоблоках ВВЭР (например, в 2004 г. на АЭС «Ловисса», Финляндия, КИУМ = 90,1 %). Снижение числа нарушений по вине ИУС вносит свою лепту в уменьшение простоев энергоблоков и, соответственно, в повышение КИУМ и уменьшение недоотпуска электроэнергии.

Одним из компонентов подготовки к сооружению новых энергоблоков Хмельницкой АЭС должно быть создание новых систем, соответствующих уже не только требованиям сегодняшнего дня, а тем требованиям, которые будут к 2015–2017 гг.:

- использование новых электронных компонентов с более высокой степенью интеграции, большими функциональными возможностями, большей надежностью, чем существующие;

- применение интеллектуальных датчиков (smart sensors);

- дальнейшая компьютеризация БЩУ с улучшенным человеко-машинным интерфейсом, облегчающим задачи оператора и исключаящим риск его ошибок;

- совершенствование технологии беспроводных коммуникаций;

- существенное повышение информационной безопасности (cyber security);

- расширение функций ИУС, предназначенных для мониторинга и диагностики технологического оборудования, противопожарного управления и др.

Среди насущных задач в области регулирования и оценки безопасности автоматике назовем также:

- внедрение широкого спектра новых стандартов МЭК, относящихся к важным для безопасности системам, в качестве государственных стандартов Украины;

- разработка методик и руководств по оценке безопасности цифровых систем, построенных на новой элементной базе (в частности, ПЛИС);

- управление знаниями — создание базы знаний в области ИУС, способствующей совершенствованию подготовки специалистов (в первую очередь, молодежи);

- систематический сбор и обработку эксплуатационной информации о цифровых ИУС для оценки надежности цифровых компонент, анализа отказов по общей причине и др.;

- совершенствование методов оценки надежности цифровых систем;

- разработку методов количественного анализа надежности и программных средств;

- использование инструментальных средств оценки безопасности;

- разработку методов квалификации коммерческих технических программных изделий и ранее разработанного программного обеспечения (Pre-Existing Software Product — PESP);

- совершенствование методов квалификации электромагнитной совместимости;

- анализ старения цифровых систем.

## Список литературы

1. *PM 25 850–87*. Автоматизированные системы управления технологическими процессами атомных электростанций. Надежность. Общие требования / Минприбор. — 1987.
2. *Brennan O., Denning R., Cybulskis P., Vynogradska S., Yastrebenetsky M., Afanasiev N.* Licensing Review of Foreign I&C Systems for Ukrainian Nuclear Power Plants // 5-th International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Controls, and Human Machine Interface Technology (NPIC&HMIT 2006). — Albuquerque, New Mexico, USA: American Nuclear Society, 2006.
3. *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.: М-во охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности, 1996.
4. *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.: Гос. администрация ядерного регулирования, 2003.
5. *НП 306.5.02/3.035–2000*. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. — К.: Гос. администрация ядерного регулирования Украины, 2000.
6. *Ястребенецкий М. А., Васильченко В. Н., Виноградская С. В. и др.* Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. — К.: Техніка, 2004. — 472 с.

Надійшла до редакції 06.01.2011.