

**ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ АЭС:  
АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ»  
ХАРЬКОВ, 9–11 ОКТЯБРЯ 2007 ГОДА

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ЭНЕРГОБЛОКА №2  
ЮЖНО-УКРАИНСКОЙ АЭС**

**В.И. Кузнецов**, инженер

Южно-Украинская АЭС

**Ю.И. Кудинов**, инженер,

**И.Г. Ляцев**, инженер,

**М.А. Чернышов**, канд. техн. наук

**О.М. Белохин**, канд. техн. наук

Вестрон

**О.А. Бренман**,

Westinghouse Electric Company

*В настоящей статье рассматриваются основные подходы и результаты работ по реконструкции информационно-вычислительной системы энергоблока №2 Южно-Украинской АЭС, которые проводились предприятием «Вестрон» (г. Харьков), как основным подрядчиком работ*

**ВВЕДЕНИЕ**

Информационно-вычислительная система (ИВС) является одной из ключевых систем, важных для безопасности энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000. Основной функцией ИВС является информационная поддержка операторов в различных режимах работы энергоблока.

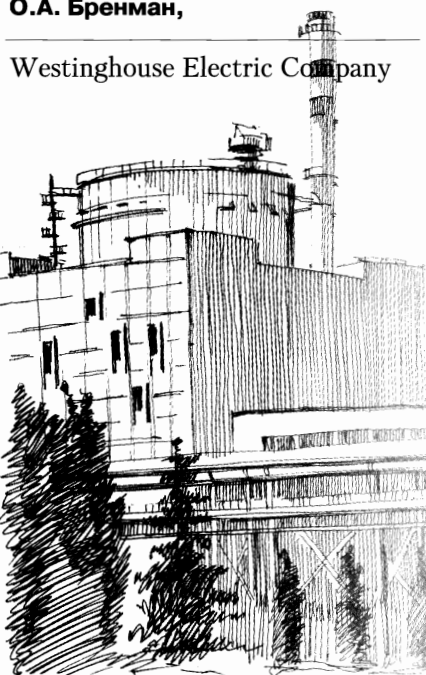
Информационно-вычислительная система (ИВС) «Уран-2М», которая эксплуатировалась на энергоблоке №2 ЮУАЭС с 1984 года, физически и морально устарела и перестала соответствовать возросшим требованиям, которые предъявляются к современным информационным системам, важным для безопасности АЭС. Дефициты безопасности ИВС «Уран-2М» определялись:

- недостаточным объёмом ото-

бражаемых и архивируемых данных;

- плохим качеством отображения информации и устаревшим интерфейсом «человек-машина»;
- неудовлетворительной глубиной диагностирования;
- низкой надёжностью технических средств;
- значительным превышением фактического срока эксплуатации изделий по сравнению со сроком, регламентированным в технической документации;
- невозможностью пополнения исчерпанного комплекта запасных частей в связи с прекращением производственной деятельности их изготовителей.

Реконструкция ИВС действующих энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 производится на АЭС Украины с середины 90-х годов XX века. Первая пол-



Автоматизовані системи

номасштабная реконструкция ИВС энергоблока ВВЭР-1000 произведена предприятием «Вестрон» в 1998 году на энергоблоке №1 ЮУАЭС [1]. В рамках этого проекта была произведена замена программно-технического комплекса (ПТК) ИВС «Уран-2М», а также аппаратуры контроля турбогенератора (-СКТГ) А701-3 на ПТК «Вулкан-ИВК». При проведении этой замены были сохранены существующие датчики, кабели связи, кабельные проходки, системы электропитания и кондиционирования. В 1999 году ПТК «Вулкан-ИВК» был интегрирован с ПТК системы представления параметров безопасности (-СППБ) [2,3] и был создан первый в Украине интегрированный комплекс ИВС/СППБ.

Продолжающаяся более десяти лет успешная эксплуатация ИВС энергоблока №1 ЮУАЭС на базе ПТК «Вулкан-ИВК», первый этап которой был внедрен в 1996 году, продемонстрировала правильность принятых технических решений, а также высокие эксплуатационные и функциональные характеристики системы.

Реконструкция ИВС энергоблока №2 ЮУАЭС, проведенная в 2005 году, имела целью устранение указанных выше дефицитов безопасности и обеспечение:

- увеличения объема и улучшение качества выполнения вычислительных и иных функций (представления оперативно персоналу всей необходимой информации о протекании технологических процессов и состоянии оборудования энергоблока, регистрации, архивирования, технического диагностирования и т.п.);
- поддержки современного человеко-машинного интерфейса;
- достижения более высоких эксплуатационных характеристик (точности, надежности, устойчивости к внешним воздействиям,

электромагнитной совместимости и др.);

- достаточного запаса вычислительной мощности для возможного наращивания выполняемых функций в процессе эксплуатации системы.

Несмотря на то, что с функциональной точки зрения ИВС на базе ПТК «Вулкан-ИВК/ППБ-2» энергоблока №2 ЮУАЭС во многом аналогична ИВС энергоблока №1 ЮУАЭС, архитектура, технические и программные средства этих систем имеют ряд существенных отличий.

Подходы к построению ПТК «Вулкан-ИВК/ППБ-1» детально рассмотрены в работе [1]. В настоящей статье основное внимание уделяется отличиям ПТК «Вулкан-ИВК/ППБ-2» от «Вулкан-ИВК/ППБ-1», а также особенностям выполнения данного проекта.

### **ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ ИВС ЭНЕРГОБЛОКА №2 ЮУАЭС**

ЮУАЭС имеет в своем составе три действующих энергоблока ВВЭР-1000. Первая очередь АЭС состоит из двух энергоблоков так называемой малой серии. Энергоблок №1 – проект В-302 и энергоблок №2 – В-338. На ЮУАЭС используется один полномасштабный тренажер (ПМТ-1) для двух энергоблоков первой очереди. При этом на ПМТ-1 реализована модель ИВС энергоблока №1. Эксплуатация ИВС энергоблоков №1 и №2 производится одним и тем же оперативным и ремонтным персоналом АЭС. Одним из существенных требований к реконструкции ИВС энергоблока №2 (ИВС-2) была минимизация финансовых затрат, необходимых для проведения реконструктивных работ, а также последующей эксплуатации ИВС двух блоков. На основании анализа этих и других требований к ИВС-2, а также поло-

жительного опыта эксплуатации ИВС-1, было принято решение о сохранении человеко-машинного интерфейса ИВС-1 в ИВС-2. Кроме того, было признано целесообразным для построения ИВС-2 в максимально возможном объеме использовать КТС, аналогичный КТС ИВС энергоблока №1.

Центральной частью реконструированной ИВС энергоблока №1 ЮУАЭС является программно-технический комплекс – ПТК [4], разработанный предприятием «Вестрон» (г. Харьков) на базе оборудования WDPF-II (Westinghouse Distributed Process Family) компании Westinghouse. Аналогичное оборудование было использовано для построения системы представления параметров безопасности (СППБ) энергоблока №3 Чернобыльской АЭС. СППБ ЧАЭС была введена в эксплуатацию в 1999 году и выведена из эксплуатации в 2000 году в связи с закрытием ЧАЭС. Анализ возможности использования оборудования СППБ ЧАЭС-3 для реконструкции ИВС энергоблока №2 показал, что по сравнению с другими вариантами реконструкции этот вариант дает существенный экономический эффект. В связи со существенной разницей в составе входных сигналов СППБ РБМК (ЧАЭС-3) и ИВС ВВЭР-1000 (ЮУАЭС-2) оборудование СППБ ЧАЭС-3 не обеспечивало прием требуемого для ИВС ЮУАЭС-2 количества аналоговых сигналов, сигналов термометров-сопротивлений, а также инициативных сигналов. Принятые в связи с этим решения, изложены ниже при описании структуры ПТК ИВС. В 2004 году НАЭК «Энергоатом» принял решение о реконструкции верхнего уровня (ВУ) ИВС энергоблока №2 ЮУАЭС в рамках проекта Международной программы повышения ядерной безопасности (МПЯБ). Данное решение повлияло на выбор технических и

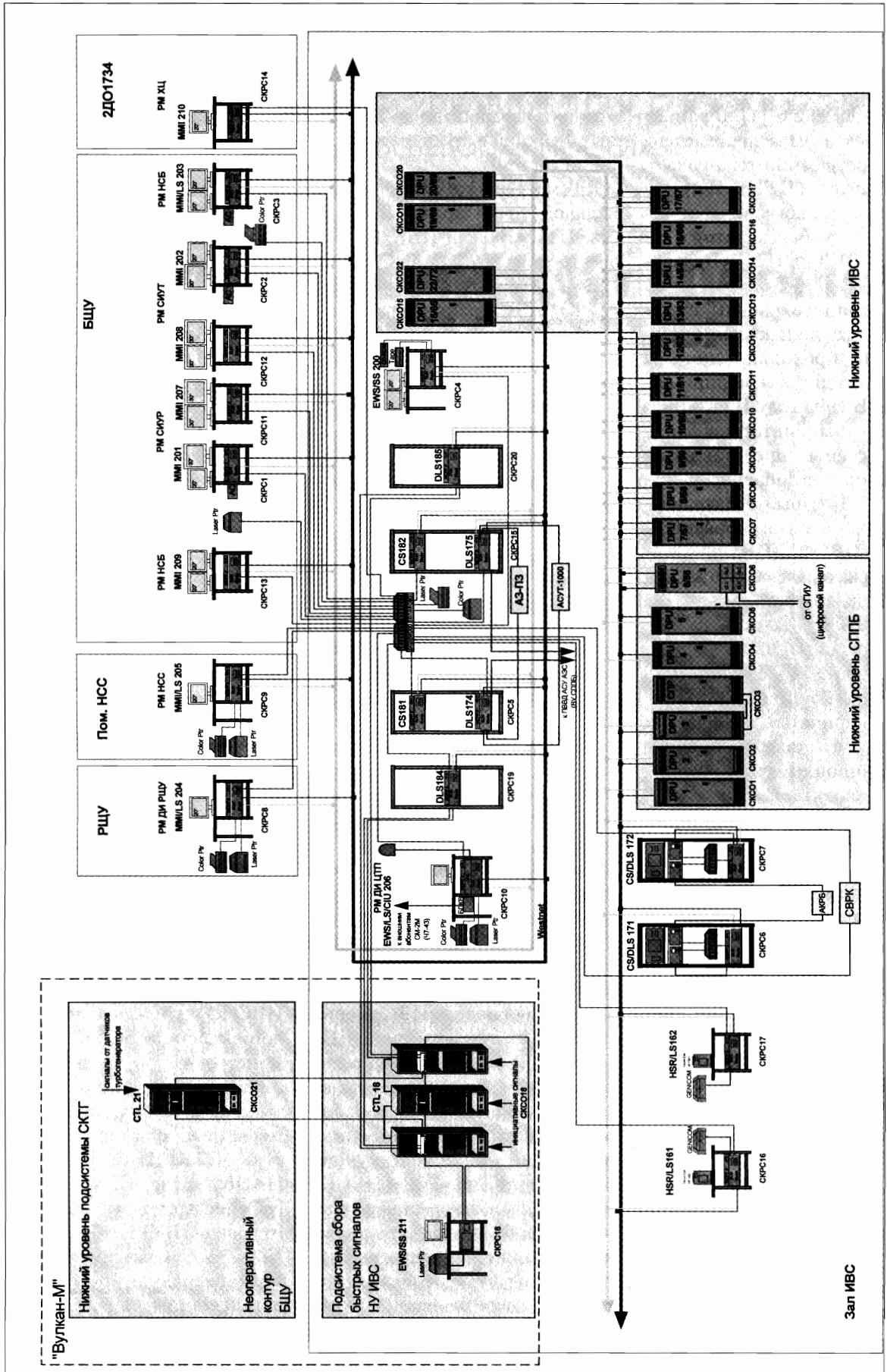


Рис. 1. Структура ПТК

Таблиця 1

Наименование системы/ подсистемы/оборудования	Применяемое оборудование СППБ ЧАЭС	Дорабатываемое оборудование СППБ ЧАЭС	Новое оборудование Вулкан	Новое оборудование Вулкан-М
<u>Подсистема приема дискретных сигналов</u>				
Шкаф контроллера	4 (100%)			
Шкаф клеммных колодок	4 (100%)			
Резервированный процессорный крейт	4 (100%)			
Резервированный ВИП	4 (100%)			
Платы ввода-вывода	172(100%)			
<u>Подсистема приема аналоговых сигналов</u>				
Шкаф контроллера	14 (100%)			
Шкаф клеммных колодок	14 (100%)			
Резервированный ВИП	14 (100%)			
Резервированный процессорный крейт	14 (100%)			
Платы ввода-вывода	30 (10%)	16 (5,5%)	251 (85,5%)	
<u>Подсистема приема быстрых сигналов</u>				
Шкаф контроллера/клеммных колодок				1 (100%)
Шкаф расширения/клеммных колодок				2 (100%)
Резервированный процессорный крейт				1 (100%)
Резервированный крейт ВИП				2 (100%)
Платы ввода-вывода				98 (100%)
Инженерная станция				1 (100%)
<u>Подсистема контроля турбогенератора</u>				
Шкаф контроллера/клеммных колодок				1 (100%)
Резервированный процессорный крейт				1 (100%)
Резервированный крейт ВИП				1 (100%)
Платы ввода-вывода				37 (100%)

программных средств ВУ, а также привело к необходимости доработки СППБ энергоблока №2 в составе интегрированного комплекса ИВС/СППБ.

### СТРУКТУРА, СОСТАВ И ОБОРУДОВАНИЕ ПТК

*Структура* ПТК (рис. 1) была выбрана на основании требований заказчика (ЮУАЭС), которые

Таблиця 2

Подсистема/Узел	Системное ПО (ОС)	Базовое ПО
Верхний уровень	Solaris 8	Accolade
СКСО на базе КТС «Вулкан»	iRMX	Accolade
СКСО на базе КТС «Вулкан-М»	QNX 6.22	VMS 1.3
Инженерная станция СКРС 18	Windows 2000	VMS 1.3

устройств. Данные по оборудованию узлов нижнего уровня приведены в табл. 1 (без учета шкафов сбора и обработки информации СППБ ЭБ №2, применяемых в составе интегрированной системы ИВС/СППБ).

**Узлы верхнего уровня** реализованы на базе рабочих станций Sun Blade 150 фирмы Sun Microsystems с операционной системой реального времени Solaris™. В процессе выполнения проекта узлы ВУ СППБ энергоблока №2 доработаны путем замены рабочих станций Sun Ultra на Sun Blade 150.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПТК**

Программное обеспечение (ПО) ПТК состоит из следующих компонентом (программных комплексов):

- системное программное обеспечение (операционные системы);
- базовое программное обеспечение;
- прикладное программное обеспечение.

Состав системного и базового ПО ПТК представлен в табл. 2.

Базовое ПО Accolade является доработанной «Вестроном» версией базового ПО WDPF 8.6 (разработчик – Westinghouse). В отличие от WDPF 8.6, версия Accolade обеспечивает работу под управлением ОС Solaris 8 на 64-разрядных рабочих станциях Sun.

Базовое ПО VMS разработано «Вестроном» для использования в ПТК на базе платформы «Вулкан М».

**ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА**

Организация работ по реконструкции ИВС энергоблока №2 ЮУАЭС была достаточно сложной, что было вызвано, с одной

содержались в техническом задании на реконструкцию ИВС энергоблока №2 и учитывали особенности реализации проекта, описанные выше.

ПТК в целом имеет иерархическую (двухуровневую) распределенную структуру, которая включает в себя специализированные субкомплексы, объединенные локальной сетью. Узел сети, предоставляющий некоторый ресурс другим узлам, именуется сервером данного ресурса. Узлы нижнего уровня выполняют ввод непрерывных и дискретных сигналов от датчиков, приём данных от других систем энергоблока и первичную обработку полученной информации. Узлы верхнего уровня производят более сложные расчёты, обеспечивают поддержку человеко-машинного интерфейса, осуществляют хранение, отображение, регистрацию и архивирование данных, выполняют подготовку и выдачу информации для общестанционной автоматизированной системы управления (АСУ АЭС).

**Обмен данными** между составными частями ПТК производится:

- по локальной сети Westnet II (обеспечивает передачу данных реального времени между узлами верхнего и нижнего уровня, подсоединенными к магистрали Westnet II);
- по информационной магистрали Ethernet (обеспечивает передачу данных между узлами верхнего уровня);
- через дублированный сервер связи, обеспечивающий передачу

информации между сетью Westnet II и подсистемами, построенными на базе КТС «Вулкан-М» (сеть Fast Ethernet);

- по сети Fast Ethernet (обеспечивает передачу данных между узлами подсистем, построенных на базе КТС «Вулкан-М»).

**Узлы нижнего уровня** – субкомплексы сбора и обработки данных (СКСО), реализованы на базе комплексов технических средств «Вулкан» и «Вулкан-М».

Подсистемы приема быстрых (инициативных) сигналов (СКСО 18) и сигналов контроля турбогенератора (СКСО 21) реализованы на базе КТС «Вулкан-М». СКСО 18 состоит из контроллера шкафа и двух шкафов расширения. СКСО 21 состоит из одного контроллера шкафа «Вулкан-М». Конфигурирование СКСО 18, 21, а также выполнение других инженерных функций для этих СКСО производится программными средствами инженерной станции EWS/SS 211 (СКРС 18), которая является также сервером программного обеспечения СКСО «Вулкан-М».

Подсистемы приема аналоговых и дискретных сигналов нижнего уровня ИВС энергоблока №2 ЮУАЭС реализованы на базе КТС «Вулкан». При этом для изготовления СКСО использовалось как оборудование WDPF из комплекта СППБ ЧАЭС-3, так разработанные и изготавливаемые «Вестроном» устройства (в частности, платы ввода-вывода), которые совместимы с платформой WDPF или являются функциональными аналогами соответствующих

Таблиця 3

Етап	Наименование этапа/работ	Результат
1	Технико-экономическое обоснование	Обоснована техническая и экономическая целесообразность использования оборудования СППБ ЧАЭС
2	Демонтаж и дезактивация оборудования СППБ ЧАЭС	Проведен демонтаж и дезактивация (контроль) оборудования для обеспечения его вывоза из Чернобыльской зоны
3	Тестирование оборудования СППБ ЧАЭС в «Вестроне»	Проведено всеобъемлющее тестирование оборудования. Подтверждена возможность его использования в проекте
4	Проектирование ПТК	Разработана документация на ПТК в полном объеме
5	Изготовление СКСО, СКРС на базе КТС «Вулкан-М» и субблоков КТС «Вулкан»	«Вестрон» изготовил новое оборудование, которое было поставлено на ЮУАЭС, а затем передано обратно в «Вестрон» для интеграции в ПТК
6	Изготовление оборудования ВУ	На базе комплектующих, полученных в рамках МПЯБ, изготовлено оборудование ВУ ИВС
7	Изготовление оборудования НУ	На базе оборудования по п.5 и части оборудования СППБ ЧАЭС изготовлено оборудование НУ ИВС
8	Интеграция ПТК	Создан ПТК ИВС энергоблока №2 ЮУАЭС. Проведена верификация и валидация
9	Предварительные испытания 1 этапа (в «Вестроне») поставка оборудования	Проведены предварительные испытания в «Вестроне». Подтверждено соответствие ПТК требованиям ТЗ. Оборудование поставлено на ЮУАЭС
10	Демонтаж ИВС «Уран-2М»	Произведен демонтаж
11	Доработка СКРС СППБ на объекте	Проведены доработки СКРС СППБ в связи с заменой рабочих станций СППБ на Sun Blade 150
12	Монтаж и пуско-наладка ПТК ИВС	Проведен монтаж, автономная и комплексная пуско-наладка ПТК ИВС
13	Предварительные испытания 2 этапа (на ЮУАЭС)	Проведены предварительные испытания на энергоблоке. Подтверждено соответствие ПТК требованиям ТЗ и готовность ПТК к эксплуатации на энергоблоке
14	Введение системы в эксплуатацию	Оформлены соответствующие решения о вводе ПТК в опытно-промышленную эксплуатацию
15	Опытно-промышленная эксплуатация	Подтверждены все функциональные характеристики ПТК. Подтверждена полнота и качество эксплуатационной документации. Персоналом накоплен опыт работы с ПТК в объеме, позволяющем проводить его постоянную эксплуатацию, ремонт и необходимые модернизации. Подтверждены показатели надежности технических средств и программного обеспечения ПТК
16	Постоянная эксплуатация	По результатам опытно-промышленной эксплуатации оформлены соответствующие решения о переводе системы в постоянную промышленную эксплуатацию. Система находится в постоянной промышленной эксплуатации

стороны, применением в проекте кроме вновь изготавливаемого оборудования части оборудования СППБ ЧАЭС, а с другой стороны – выполнением части проекта (реконструкция верхнего уровня) в рамках междуна-

родной программы повышения ядерной безопасности (МПЯБ). В связи с этим работы по проекту проводились в рамках нескольких контрактов, которые требовали взаимной увязки и координации.

Проект реконструкции ИВС энергоблока №2 ЮУАЭС выполнялся поэтапно. Основные этапы и результаты работ представлены в табл. 3.

Часть этапов, представленных в табл. 3, выполнялась параллельно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произведена замена ПТК информационно-вычислительной системы энергоблока №2 ЮУАЭС на интегрированный ПТК «Вулкан-ИВК/ППБ-2», построенный на базе КТС «Вулкан» и «Вулкан-М». Для изготовления технических средств нижнего уровня ИВС частично было использовано оборудование СППБ ЧАЭС. Принятые решения по структуре, составу ПТК и техническим средствам позволили осуществить реконструкцию при существенно меньших финансовых затратах по сравнению с другими вариантами реконструкции. Замена ИВС на энергоблоке №2 ЮУАЭС не потребовала доработок полномасштабного тренажера первой очереди ЮУАЭС.

Реконструированная ИВС энергоблока №2 ЮУАЭС прошла полный цикл испытаний и лицензирования. ИВС признана соответствующей требованиям всех нормативных документов по ядерной безопасности, действующим в Украине.

Опытно-промышленная эксплуатация ИВС подтвердила высокие функциональные и эксплуатационные характеристики системы, высокую надежность технических средств. ИВС энергоблока №2 ЮУАЭС находится в постоянной эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасьев Н.В., Белохин О.М., Бренман О., Гольдрин В.М., Васильченко В.Н., Корчагин Л.Н., Редько В.Ф., Розен Ю.В., Чернышов М.А., Ястребенецкий М.А.* Обеспечение и оценка безопасности информационно-вычислительной системы энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 // Ядерная и радиационная безопасность. – 2002. – №4. – С. 87–104.
2. *Чернышов М.А., Ким В.В., Радомски С., Балакан Г.Г.* Внедрение систем представления параметров безопасности на энергоблоках ВВЭР-1000 АЭС Украины: Третья междунар. науч.-техн. конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». – Москва, ВНИИАЭС, 2002 – С. 58–61.
3. *Аниканов С., Безсальый В.Т., Белохин О.М., Бренман О., Васильченко В.Н., Гольдрин В.М., Деннинг Р., Колесов С.А., Мартин А., Чернышов М.А., Ястребенецкий М.А.* Обеспечение и оценка безопасности систем представления параметров безопасности АЭС с реактором ВВЭР-1000 // Ядерная и радиационная безопасность. – 2003. – №1. – С. 84–94.
4. *Ястребенецкий М.А., Васильченко В.Н., Виноградская С.В., Гольдрин В.М., Розен Ю.В., Спектор Л.И., Харченко В.С.* Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы. – Киев: Техніка, 2004. – 472 с.
5. *Anikanov S.S., Chernyshov M.A.* Vulcan/Vulcan-M: Certified State-of-the-Art Platform for Plant Control and Information Systems, ANS Topical Meeting NPIC & HMIT 2006, Albuquerque, MM, November 2006.
6. *Brenman O.A., Chernyshov M. A., Denning R. S., Kolesov S.A., Balakan G.G., Bilyk B.I., Kuznetsov V.I., Trosman G.A.* South Ukraine NPP: Safety Improvements through Plant Computer Upgrade, ANS Topical Meeting NPIC & HMIT 2006, Albuquerque, MM, November 2006.