

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

УДК 621.039.5

О.М.Белохин²⁾, О.А.Бренман³⁾, Ю.И.Кудинов²⁾, В.И.Кузнецов¹⁾, И.Г.Лящев²⁾, М.А.Чернышов²⁾

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОБЛОКА №2 ЮУАЭС

¹⁾ Южно-Украинская АЭС

²⁾ Вестрон

³⁾ 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 объемом отображаемых и архивируемых данных;
- плохим качеством отображения информации и устаревшим интерфейсом «человек-машина»;
- неудовлетворительной глубиной диагностирования;
- низкой надежностью 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 девяностых годов. Первая полномасштабная 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 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 оперативному 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 положительного опыта эксплуатации ИВС-1, было принято решение о сохранении человеко-машинного интерфейса ИВС-1 в ИВС-2. Кроме этого, 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 с существенной разницей в составе входных сигналов СППБ РБМК (ЧАЭС-3) и ИВС ВВЭР-1000 (ЮУАЭС-2) оборудование СППБ ЧАЭС-3 не обеспечивала 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 повлекло на выбор технических и 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 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 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);

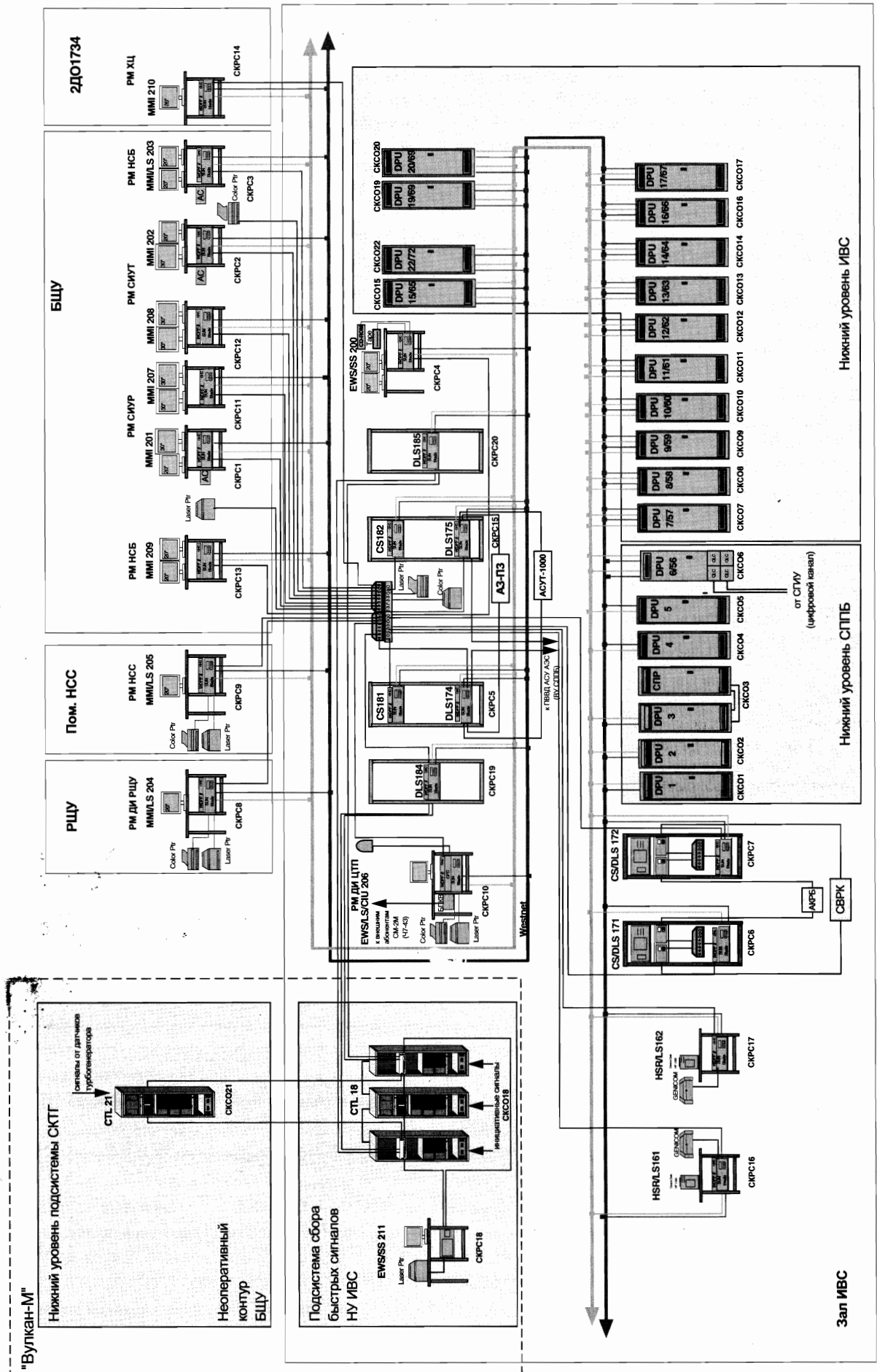
по информационной магистрали Ethernet (обеспечивает передачу данных между узлами верхнего уровня).

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 контроллерного шкафа и двух шкафов расширения. СКСО 21 состоит из одного контроллерного 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 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.

Таблица 1

Наименование системы/ подсистемы/оборудования	Применяемое оборудование СППБ ЧАЭС	Дорабатываемое оборудование СППБ ЧАЭС	Новое оборудование Вулкан	Новое оборудование Вулкан-М
Подсистема приема дискретных сигналов				
Шкаф контроллера	4 (100%)			
Шкаф клеммных колодок	4 (100%)			
Резервированный процессорный крейт	4 (100%)			
Резервированный ВИП	4 (100%)			
Платы ввода-вывода	172(100%)			
Подсистема приема аналоговых сигналов				
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%)	
Подсистема приема быстрых сигналов				
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%)
Подсистема контроля турбогенератора				
Шкаф контроллера/клеммных колодок				1 (100%)
Резервированный процессорный крейт				1 (100%)
Резервированный крейт ВИП				1 (100%)
Платы ввода-вывода				37 (100%)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПТК

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

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

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

Таблица 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

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 стороны применением в проекте кроме вновь изготавливаемого оборудования части оборудования СППБ ЧАЭС, а с другой – выполнением части проекта (реконструкция верхнего уровня) в рамках международной программы повышения ядерной безопасности (МПЯБ). В связи с этим, работы по проекту

проводились в рамках нескольких контрактов, которые требовали взаимной увязки и координации.

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.

Таблица 3

Этап	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.

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. Н.В.Афанасьев, О.М.Белохин, О.Бренман, В.М.Гольдрин, В.Н.Васильченко, Л.Н.Корчагин, В.Ф.Редько, Ю.В.Розен, М.А.Чернышов, М.А.Ястребенецкий. Обеспечение и оценка безопасности информационно-вычислительной системы энергоблока АЭС с ректором 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 международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». Москва, ВНИИАЭС. – 2002 – с. 58-61.
3. С.Аникианов, В.Т.Безсалый, О.М.Белохин, О.Бренман, В.Н.Васильченко, В.М.Гольдрин, Р.Деннинг, С.А.Колесов, А.Мартин, М.А.Чернышов, М.А.Ястребенецкий. Обеспечение и оценка безопасности систем представления параметров безопасности АЭС с реактором ВВЭР-1000. Ядерная и радиационная безопасность. - 2003. - №1. - с. 84-94
 4. М.А.Ястребенецкий, В.Н.Васильченко, С.В.Виноградская, В.М.Гольдрин, Ю.В.Розен, Л.И.Спектор, В.С.Харченко. Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы. – Киев: Техніка, 2004, - 472 с.
 5. S.S. Anikanov, M.A. Chernyshov. 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. O.A. Brenman, M. A. Chernyshov, R. S. Denning, S.A. Kolesov, G.G. Balakan, B.I. Bilyk, V.I. Kuznetsov, G.A. Trosman. South Ukraine NPP: Safety Improvements through Plant Computer Upgrade, ANS Topical Meeting NPIC & HMIT 2006, Albuquerque, MM, November 2006

О.М.Белохин, О.А.Бренман, Ю.І.Кудінов, В.І.Кузнєцов, І.Г.Лящев, М.А.Чернишов

РЕКОНСТРУКЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОБЛОКУ №2 ЮУАЕС

У дійсній статті розглядаються основні підходи і результати робіт з реконструкції інформаційно-обчислювальної системи енергоблоку №2 Южно-Української АЕС, які проводилися підприємством «Вестрон» (м. Харків), як основним підрядником робіт.

O. Belokhin, O. Brenman, Y. Kudinov, V. Kuznetsov, I. Lashev, M. Chernishov

MODERNIZATION OF COMPUTER INFORMATION SYSTEM OF UNIT 2 OF SOUTH-UKRAINIAN NPP

The basic approaches and results of works on modernization of computer information system of unit 2 South-Ukrainian nuclear power plant which were carried out by enterprise "Westron" (Kharkov) as the basic contractor of works are considered in this article.