



Информационно-аналитическая система контроля комплекса переработки жидких радиоактивных отходов Кольской АЭС

Вадим Краснослободцев, Михаил Малинин, Геннадий Гладышев, Юрий Ефимов, Николай Жиленков, Алексей Нечаев, Василий Тыхшаев, Дмитрий Швецов, Виктор Антуфьев, Руслан Петров

В рамках программы международного сотрудничества по ядерной безопасности на Кольской АЭС был реализован уникальный проект автоматизации комплекса по переработке жидких радиоактивных отходов (КП ЖРО). Современные технологии переработки, не имеющие аналогов в мире, предназначены для извлечения ЖРО из ёмкостей хранения и очистки их от радионуклидов. Развитие отрасли в соответствии с принятой Федеральной целевой программой предполагает тиражирование подобных проектов по линии международного сотрудничества в рамках повышения безопасности и обеспечения надёжной работы атомных станций. Благодаря КП ЖРО за 10 лет Кольской АЭС удастся полностью избавиться от ЖРО, накопленных с начала эксплуатации станции.

ВВЕДЕНИЕ

В этой статье представлена разработанная и внедрённая информационно-аналитическая система контроля оборудования и технологических процессов комплекса переработки жидких радиоактивных отходов (ИАСК КП ЖРО) Кольской АЭС. Система осуществляет мониторинг, оперативный анализ и архивацию всех технологических параметров комплекса. При этом она реализует их обобщённое представление на большом экране коллективного пользования в центральном пункте диспетчеризации КП ЖРО. Созданные при разработке ИАСК решения позволяют осуществить мгновенный доступ к архивным и текущим параметрам системы с автоматизированных мест оператора, администратора и начальника смены, а также транслируют данные по протоколу TCP/IP в общестанционную сеть, где они доступны через обычный Web-интер-

фейс (Internet-браузер — «тонкий» клиент). Внедрение проекта создало условия для объединения информационных потоков отдельных техно-

логических процессов КП ЖРО в единую интерактивную аналитическую систему, позволяющую не только осуществлять глобальную диспетче-



Проведение пусконаладочных работ на АРМ дежурного персонала станции

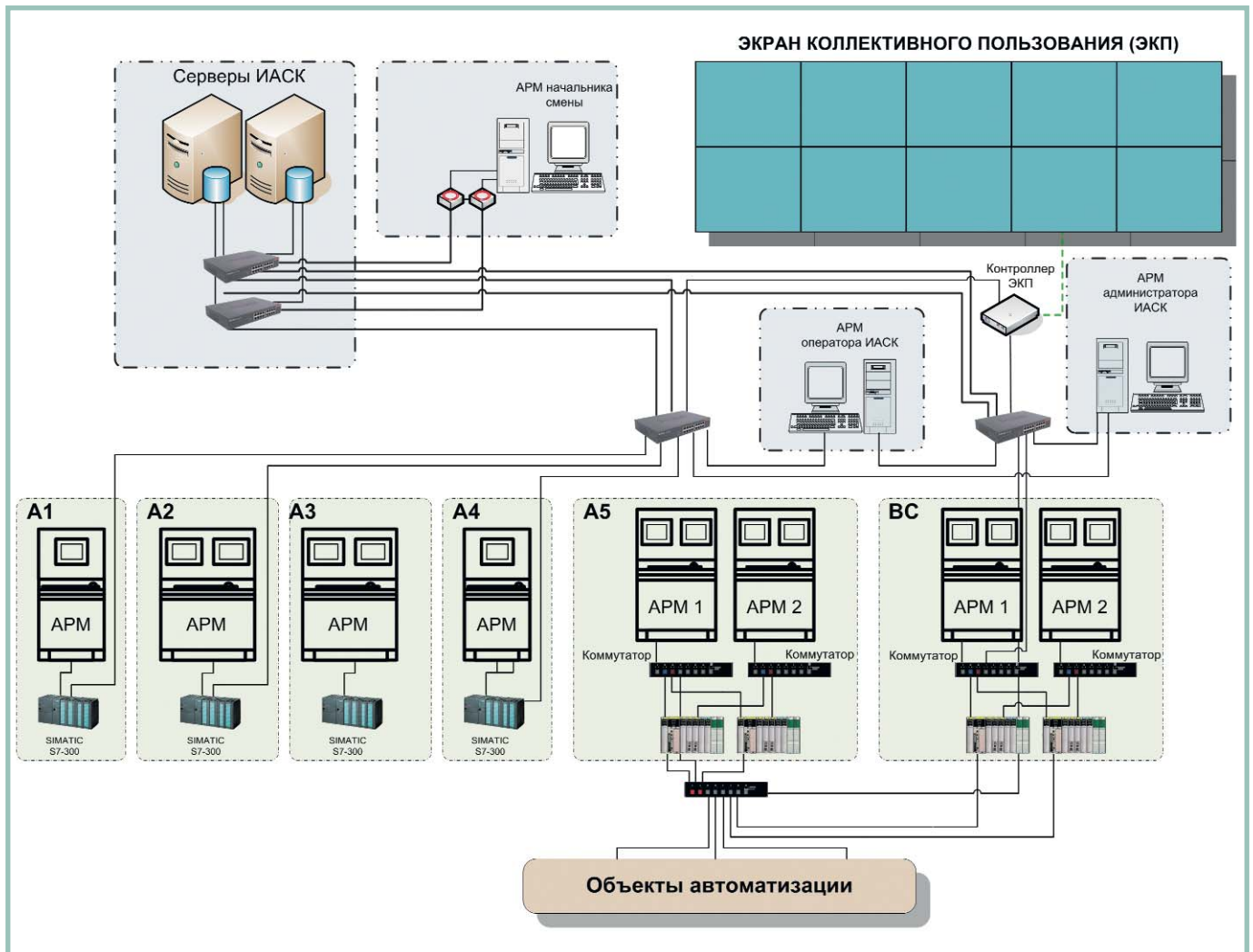


Рис. 1. Структурная схема ИАСК переработки жидких радиоактивных отходов

ризацию всего процесса переработки, но и прогнозировать временное поведение его параметров с точки зрения безопасности и эффективности.

Постановка задачи

Комплекс переработки жидких радиоактивных отходов Кольской АЭС не имеет аналогов в мире и является продуктом высокотехнологичных российских разработок в данной области. Он предназначен для выделения радионуклидов из жидких радиоактивных отходов, их концентрирования и перевода в твёрдое состояние, пригодное для дальнейшего захоронения на длительное время (определяется периодом полураспада радионуклидов и составляет в среднем от 300 до 500 лет). Объект уникален во всех отношениях: от внутреннего интерьера, оставляющего абсолютное впечатление пребывания на космической станции, стиля компьютерных 3D-игр до обилия применённых и функционирующих в нём новейших робототехни-

ки и ионоселективной очистки ЖРО от радионуклидов.

Комплекс состоит из нескольких технологически связанных между собой подсистем (рис. 1). Подсистемы изъятия жидких радиоактивных отходов А1 и А4 производят подготовку и забор отработанных радиоактивных солей, ионообменных смол и шламов, возникающих в результате работы атомного реактора и хранящихся на Кольской АЭС в баках из нержавеющей стали, помещённых внутри бетонных камер двух хранилищ. Доступ к бакам ограничен в связи с высокой радиацией. Поэтому для размывания, локального подогрева и забора отходов используется специальный робот — кроулер, дистанционно управляемый оператором. Подсистема А2 производит концентрирование ЖРО. В подсистеме А5 реализована собственно сама технология очистки от радионуклидов кобальта, цезия и продуктов коррозии высокосолевых растворов, извлечённых из хранилищ. Подсистема А3

предназначена для цементирования выделенных и переведённых в твёрдую фазу отходов и находится в настоящее время в стадии развёртывания. Кроме того, в комплекс входят разнообразные вспомогательные системы (ВС), такие как спецканализация, вентиляция, подсистема технической воды и т.п.

Все эти подсистемы являются полностью автоматизированными. К началу разработки ИАСК в каждой из них был реализован независимый от других подсистем программно-технический комплекс (ПТК), выполняющий ряд специализированных автоматизированных функций. Данные от подсистем отображались на дисплеях соответствующих АРМ операторов, расположенных в зале центральной диспетчерской КП ЖРО. Для обработки хранения и отображения данных разработчиками этих подсистем использовались SCADA-система Citect и программное обеспечение SIMATIC ProTool.



Рис. 2. Реконструкция ЭКП на основе экранных форм GENESIS32

На момент начала работ по созданию ИАСК КП ЖРО эти подсистемы хотя и были связаны технологически (так называемые горизонтальные связи), но не были объединены в единое информационное пространство, что затрудняло процесс обобщённого восприятия информации оперативным персоналом, контроля и управления системой. Поэтому было принято решение объединить данные, поступающие от подсистем. Для этого производилась обработка большого потока данных и визуализация их на большом (10x2 м) экране коллективного пользования (ЭКП) в помещении центральной диспетчерской (см. рис. 2). Кроме того, было решено создать на серверах ИАСК глобальную резервируемую базу данных архивов всех текущих технологических параметров комплекса. Учитывая особые требования к надёжности будущей системы и одновременно необходимость её гибкости и полного резервирования (вплоть до линий передачи данных), для реализации проекта была выбрана SCADA-система GENESIS32 компании ICONICS (последняя версия 9.10), включающая в себя подсистему резервирования Data-WorX32 Pro. Также было запланировано проводить непрерывный мониторинг всего оборудования ИАСК (серверов, коммутаторов, контроллера ЭКП, локальных АРМ) по протоколу SNMP, удобные и модернизированные средства работы с которыми также включены в состав пакета GENESIS32 V 9.10.

НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Информационно-аналитическая система контроля оборудования и технологических процессов предназначена для интеграции и представления

обобщённой технологической информации от подсистем в составе автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) КП ЖРО Кольской АЭС. Введение в работу ИАСК КП ЖРО обеспечило расширенный визуальный контроль технологических параметров комплекса в режиме реального времени, что позволило оперативному персоналу осуществлять управление системами, имея перед собой глобальную картину всех процессов и их взаимосвязей. Удобный анализ данных (в том числе и архивных) сделал возможным прогнозирование временной эволюции процессов, что привело к высокой предсказуемости их развития и предоставило возможность оперативного принятия мер по предупреждению нештатных ситуаций, обеспечивая тем самым безаварийную и надёжную эксплуатацию КП ЖРО.

Основными функциями ИАСК КП ЖРО являются следующие:

- организация обобщённого представления информации о технологических процессах КП ЖРО;

- реализация алгоритмов контроля нарушений технологических параметров КП ЖРО;
- обеспечение контроля состояния технологического оборудования КП ЖРО;
- предоставление персоналу и руководству комплекса возможности оперативного анализа архивных данных для выявления тенденций (трендов), которые потенциально могут привести к возникновению нештатной ситуации.

Архитектура системы.

Тотальное резервирование

Для обеспечения безотказной работы системы при выходе из строя аппаратных компонентов было применено решение по их резервированию (рис. 3). Основные функции по сбору, регистрации и хранению информации защищены от одиночного отказа аппаратных средств за счёт резервирования серверов ИАСК, коммутаторов и каналов связи ЛВС.

Определяющим правилом при организации обмена с подсистемами КП ЖРО было «невмешательство» в их автономность. Это обусловлено необ-

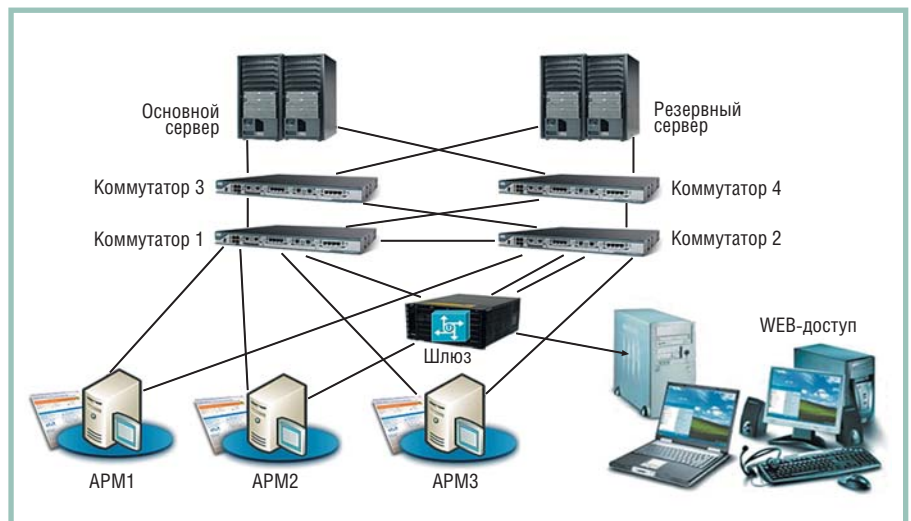


Рис. 3. Структура связей в ИАСК КП ЖРО, обеспечивающих «горячее» резервирование

ходимостью не создавать помех непрерывному технологическому процессу очистки ЖРО. Пусконаладочные работы также проводились в условиях непрерывного производственного цикла. Для связи с объединяемыми подсистемами вся необходимая информация снималась с контроллеров подсистем параллельно.

Управление технологическими процессами в подсистемах А1, А2, А3 и А4 организовано на базе контроллеров S7-300 компании Siemens. Для связи с ИАСК использованы коммуникационные процессоры Siemens CP 343-1 (343-1EX20-0XE0). В подсистеме А5 и вспомогательных системах применены контроллеры TSX Quantum. Для организации сбора данных на серверах ИАСК (основном и резервном) были установлены два OPC-сервера: KEPCware Enhanced OPC/DDE Server V4.201.359 (для работы с контроллерами Siemens S7-300) и Schneider Electric OPC Factory Server V3.2 (для работы с TSX Quantum). Далее обработка, компоновка и администрирование потоков данных осуществляется посредством модуля DataWorX32 Pro SCADA-системы GENESIS32 V 9.10, в котором также предусмотрены и реализованы алгоритмы отображения динамических элементов на АРМ и экране коллективного пользования ИАСК.

Обмен данными в ИАСК был организован при помощи независимых сетевых коммутаторов Cisco. Для приёма данных от подсистем КП ЖРО серверы ИАСК имеют два независимых сетевых интерфейса, подключаемых, соответственно, к двум сетевым коммутаторам.

Резервирование передачи данных на уровне рабочих станций было обеспечено дублированием каналов связи, сетевых интерфейсов АРМ и серверов ИАСК.

Таким образом, при одиночном отказе линии передачи или коммутатора в составе ИАСК КП ЖРО система сохраняет функциональность по сбору, регистрации и отображению информации.

Резервирование собственно серверов ИАСК было обеспечено на аппаратно-программном уровне. Серверная часть ИАСК сохраняет работоспособность при отказах одного из серверов за счёт применения модуля DataWorX32 Pro GENESIS32 V 9.10, включающего поддержку резервиро-

вания данных OPC, тревог и архивов. При этом повышение надёжности и достоверности OPC-данных достигается тем, что все данные OPC-серверов группируются в резервные пары. Эти резервные пары OPC-серверов идентифицируются как один OPC-сервер для любых приложений (OPC-клиентов) без каких-либо задержек. При переключении с основного сервера на резервный и наоборот все регистрируемые параметры процессов сохраняются и синхронизируются.

Таким образом, модуль DataWorX32 Pro GENESIS32 V 9.10 обеспечивает сохранение функциональности сбора, регистрации и хранения информации, а также предоставляет возможность работы с АРМ ИАСК при выходе из строя компонентов серверного программного обеспечения.

В целях сохранения работоспособности системы ИАСК при отключениях электропитания в её состав были включены источники бесперебойного питания, гарантирующие работу всей системы (включая ЭКП) в течение получаса при отсутствии основного электропитания.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Для организации предоставления динамической информации о текущих процессах в диспетчерской КП ЖРО был смонтирован и подключен к ИАСК экран коллективного пользования (ЭКП), на котором отображается главная мнемосхема, содержащая все подсистемы комплекса. Цветовая гамма, размеры шрифтов и способы отображения процессов выбирались с учётом эргономических соображений после консультаций дизайнера проекта с психологами. Также учитывалась специфика стандартов, принятых в атомной промышленности. Так, например, отображение вентилей красным цветом (цветом, привлекающим внимание и сигнализирующим «Внимание, опасность!») означает, что он открыт, а следовательно, по данному трубопроводу может перемещаться радиоактивное содержимое. Зелёный цвет вентилей означает, что он закрыт и всё — в штатном режиме. Алгоритмы отображения движения среды по трубопроводам комплекса как функции сигналов, поступающих с OPC-серверов подсистем, разрабатывались квалифицированными технологами компании «СОВА-

САТОМ». Для отображения состояния среды использовались такие динамические элементы, как анимированные бегущие строки, подсвеченные строки, всплывающие табло с сообщениями о тревогах и элементы подсветки работающего оборудования.

Экран коллективного пользования (видеостена) представляет собой 10 видеокубов производства компании Eyevis с разрешением каждого куба 1024×768, объединённых в единый экран (два ряда по 5 кубов). Проекционные модули Eyevis EC построены с использованием проекторов, выполненных по технологии DLP.

Каждый проекционный модуль построен по принципу просветной технологии формирования изображения. При таком подходе в значительной степени снижаются требования к внешней световой обстановке, и даже относительно высокий уровень внешней освещённости не оказывает негативного влияния на качество изображения.

В проекционных модулях установлена двухламповая система и реализован режим автоматической замены лампы. Предусматриваются два режима работы двухламповой системы: режим «горячего» резерва, режим «холодного» резерва. Если активирован режим «горячего» резерва, в случае выхода из строя (перегорания) одной лампы вторая лампа включается в работу в течение 1 секунды. В случае активации режима «холодного» резерва вторая лампа включается в работу в течение времени, требуемого на разогрев лампы (до 10...15 секунд). Средний срок службы ламп проекционных модулей составляет 10 000 часов.

В видеостене, смонтированной из 10 отдельных проекционных модулей, физические зазоры между отдельными видеокубами составляют не более 0,3 мм.

Благодаря применению технологий DynamicBlack, SmoothPicture, Brilliant-Color и TrueVision достигается высокий уровень контрастности, цветовой согласованности и «мягкости» изображения.

На локальных АРМ (АРМ оператора и АРМ администратора ИАСК) помимо главной мнемосхемы персонал имеет возможность оперативного просмотра архивных сообщений о тревогах, анализа причин их возник-

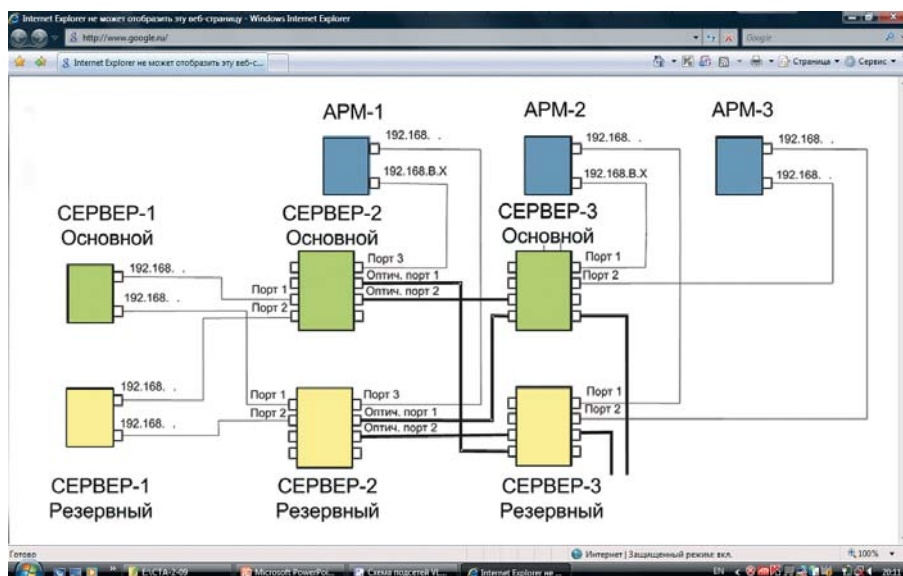


Рис. 4. Фрагмент мнемосхемы технологических процессов, отображаемый в окне браузера Microsoft Internet Explorer

новения и квитирования, а также визуализации всех контролируемых данных из общего архива. Доступ к данным реализован на основе технологии «толстых» клиентов посредством обмена данными с серверами ИАСК по протоколу OPC. На каждом АРМ используется платформа на базе ОС Windows XP SP2, а лицензии GENESIS32 для экранных форм и web-компонентов рабочих мест, которые активированы на серверах ИАСК, потребляются удалённо через Интранет. Компонент визуализации данных GENESIS32 GraphWorX32, являясь OPC-клиентом, осуществляет приём и отображение информации по мере её поступления на серверы.

Экран коллективного пользования подключён к серверам ИАСК через специализированный компьютер-контроллер (контроллер ЭКП), являющийся, по сути, локальным АРМ с точки зрения сервера. Вся экранная область ЭКП отображает обобщённый видеокادر ИАСК, содержащий основные параметры состояния КП ЖРО. Однако допускается реконфигурация ЭКП для отображения различных видеокладов на отдельных видео-кубах.

Для организации передачи оперативной информации на удалённые АРМ, находящиеся в общестанционной сети, было принято решение использовать технологию Web-доступа на основе программного продукта WebNMI компании ICONICS. На серверах ИАСК был установлен компонент WebNMI-R (с резервированием), являющийся Web-сервером и предо-

ставляющий удалённый доступ к данным ИАСК. При этом для визуализации данных на удалённых АРМ по Web-доступу требуется только наличие операционной системы, уровнем не ниже Windows XP, и обозреватель Internet Explorer.

Все необходимые для отображения данных ActiveX-компоненты GENESIS32 устанавливаются автоматически как надстройки обозревателя при первом обращении по IP-адресу Web-сервера WebNMI на сервере ИАСК. Визуализация данных осуществляется непосредственно в браузере Internet Explorer и обладает всей полнотой функциональности АРМ оператора. Внешний вид мнемосхемы технологических процессов КП ЖРО, отображаемой в окне браузера Microsoft Internet Explorer, представлен на рис. 4.

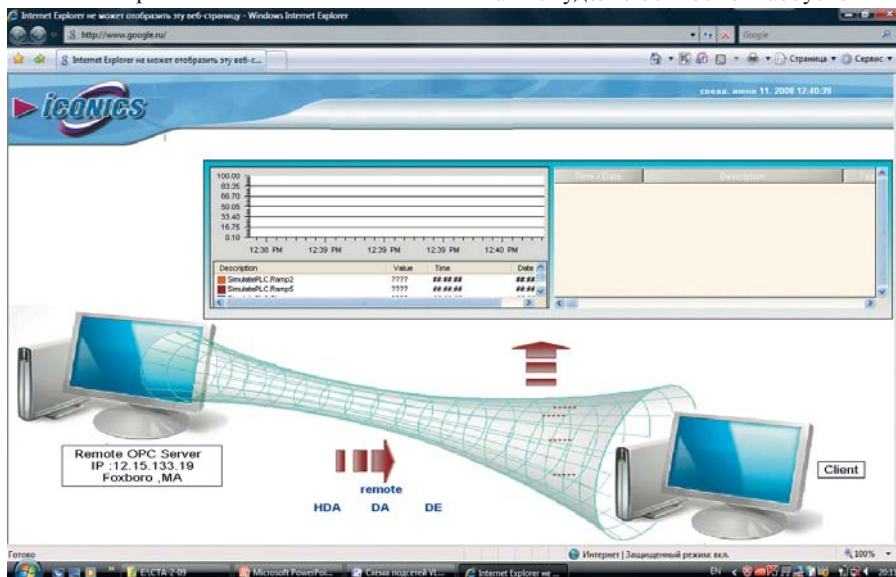


Рис. 5. Пример экранной формы для тестирования узлов системы на основе протокола SNMP

Следует подчеркнуть, что подсистема безопасности ICONICS GENESIS32 отслеживает права доступа подключившегося Web-клиента и при входе требует его логин и пароль. В то же время подсистема лицензирования ведёт учёт по количеству одновременно подключённых к ИАСК Web-клиентов. В настоящей конфигурации ИАСК их число не может превышать семи.

ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ

Ввод, классификация и первичная обработка данных

В своей работе ИАСК оперирует с 15 000 технологических параметров пяти подсистем КП ЖРО. Для ускорения их ввода в пространство регистров модуля DataWorX32 Pro и дальнейшего использования для обработки и визуализации в среде GENESIS32, а также контроля качества сигналов специалистами ГК «Антрел Автоматизация» был разработан комплекс программ, осуществляющий анализ действующих OPC-серверов КП ЖРО, сортировку и классификацию их тегов в соответствии с задачами ИАСК. Затем был произведён экспорт полученной структуры в GENESIS32. При этом на порядок были снижены трудозатраты на ввод, анализ и классификацию тегов реальных значений технологических параметров.

Мониторинг оборудования ИАСК

При создании ИАСК особое внимание уделялось её отказоустойчи-

ности. Все основные элементы сбора, хранения, обработки и передачи информации конечным потребителям изначально проектировались резервируемыми. Для мониторинга их состояния были использованы интегрированные в пакет ICONICS GENESIS32 средства для работы с протоколом SNMP. На рис. 5 приведён пример экранной формы тестирования узлов локальных сетей, коммуникационного оборудования и вычислительных систем ИАСК на базе протокола SNMP.

Система вычисляет и отображает проценты загрузки ядер процессоров всех АРМ, использование оперативной памяти и жёсткого диска, а также состояние четырёх коммутаторов. Бы-

ли разработаны алгоритмы, осуществляющие контроль дублированных линий передачи на предмет их повреждения (обрыва). При этом в случае повреждения соответствующая линия передачи отображается на мнемосхеме красным цветом, в исправном состоянии — зелёным. Аналогичные типы индикации предусмотрены и для отображения состояния коммутаторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге работ над проектом на Кольской АЭС создана, внедрена и запущена в промышленную эксплуатацию высококачественная информационно-аналитическая система контроля применительно к не имеющему мировых аналогов комплексу

переработки жидких радиоактивных отходов. Эффективное использование возможностей, предоставляемых SCADA-системой ICONICS GENESIS32 по резервированию сбора, хранения и обработки информации, SNMP-мониторингу сетевого оборудования и дублированных линий передачи данных, позволило создать отказоустойчивое и готовое для промышленного тиражирования решение в короткие сроки. ●

**Авторы — сотрудники ЗАО «СОВАТОМ», ГК «АНТРЕЛ Автоматизация», Кольской АЭС и фирмы ПРОСОФТ
Телефон: (495) 234-0636
E-mail: info@prosoft.ru**