

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ УГЛЕГОРСКОЙ ТЭС

В.А. Орловский, В.М. Шаталов, И.Д. Розенбаум,
инженеры,

ГП ХИКА, (г. Харьков)

Б.Е. Симкин, Л.Л. Лаврив,
А.П. Кизиль, А.Т. Соколов, инженеры,

ЕМВ Энерго, (г. Львов)

базе ПТК OVATION компании EMERSON, на Зуевской ТЭС на базе ПТК SPPA T 3000 компании SIEMENS, на Луганской ТЭС на базе ПТК SYMPHONY+ компании ABB и на Запорожской ТЭС на базе ПТК TREI-5B-05. При этом учитывались такие факторы, как современная апробированная платформа, сжатые сроки реализации и стоимость. Исходя из этого, техсовет Минтопэнерго принял решение о внедрении на Углегорской ТЭС системы, аналогичной внедренной на энергоблоке 1 Запорожской ТЭС, которая хорошо зарекомендовала себя в предыдущие два года эксплуатации.

Введение

29 марта 2013 года в результате пожара, возникшего на блоке № 2 Углегорской ТЭС, были значительно повреждены энергоблоки первой очереди электростанции. Наиболее пострадали системы контроля и управления (СКУ): полностью сгорели все кабели, датчики и вся аппаратура управления, установленная на блочных и местных щитах. Руководством Минтопэнерго была поставлена задача до начала отопительного сезона восстановить энергоблок №1, как наименее пострадавший от пожара, и до осенне-зимнего максимума восстановить энергоблок №4.

Заменить оборудование СКУ на аналогичное поврежденному не представлялось возможности, так как оно было введено в эксплуатацию одновременно с энергоблоками в начале 70-х годов и, на момент аварии, физически и морально устарело и было снято с производства. К тому же типовые проектные решения, принятые на этапе создания СКУ блоков 1-й очереди Углегорской ТЭС, перестали в полной мере соответствовать требованиям действующих в настоящее время нормативных документов (НД).

Модернизация СКУ должна была обеспечить надежное управление энергоблоком. Состав и качество выполнения управляющих, информационных и вспомогательных функций должны были соответствовать требованиям действующих НД, технические характеристики СКУ должны быть на уровне лучших современных отечественных и зарубежных разработок в области АСУ ТП ТЭС.

Был проведен анализ выполненных в последние годы проектов модернизации АСУ ТП на тепловых электростанциях Украины: на Кураховской ТЭС на

ПТК нижнего уровня

ПТК нижнего уровня решает задачи связи с объектом управления (ввод аналоговых и дискретных сигналов и вывод управляющих команд), обработки информации, управления (дистанционное управление, защиты, блокировки, регулирование, сигнализация) и обмена информацией с ПТК верхнего уровня.

ПТК нижнего уровня разработан и собран украинской компанией ЕМВ-ЭНЕРГО на базе модулей TREI-5B-05 производства TREI GmBh. ПТК поставляется в шкафном исполнении со степенью защиты IP54. Энергопотребление шкафов ПТК при максимальном количестве модулей ввода/вывода не превышает 150 Вт, что минимизирует тепловыделение и позволяет делать шкафы без принудительной вентиляции. Модули TREI имеют широкий диапазон рабочих температур – от 0 до 60 градусов в обычном исполнении и в специальном исполнении от -30 до +70 градусов в специальном исполнении. Модули обладают высокой защитой от помех, что позволяет обходиться без специального контура информационного заземления и без специального экранирования помещений для установки аппаратуры. Модули ввода/вывода взаимодействуют с центральными процессорными модулями по интерфейсу RS-485, что дает возможность их установки на расстоянии до 1200 м при сохранении временных характеристик ПТК таких же, как и при установке модулей в общем с центральным процессором шкафу. Указанные свойства позволяют устанавливать шкафы устройств связи с объектом (УСО) в местах концентрации информации непосредственно возле технологического оборудования. В проекте СКУ блоков

Углегорской ТЭС реализованы УСО управления механизмами собственных нужд, расположенные в помещениях КРУ-6 КВ, КРУ-0,4 КВ, УСО термоконтроля котла возле котла на отметке 9,0 м, УСО термоконтроля турбогенератора непосредственно возле турбины, модули УСО для управления регулирующей и запорной арматурой размещены непосредственно в шкафах РТЗО и др. Расчеты показали, что применение удаленных УСО позволяют сэкономить порядка 30 километров контрольного кабеля. В контроллерных шкафах и в шкафах УСО установлены промежуточные реле для перехода от сигналов напряжением 220 В в сигналы напряжением 24 В и обратно, благодаря хорошей помехозащищенности модулей специальные шкафы с промежуточными реле не требуются. Шкафы УСО, так же, как и контроллерные шкафы, заземляются на строительные конструкции. Применение удаленных УСО кроме уменьшения количества контрольного кабеля позволило также минимизировать необходимую площадь помещения для установки ПТК. Для установки ПТК не потребовался надув и экранирование помещений, как это выполнено в ряде проектов реконструкции на других технических средствах.

Одной из особенностей аппаратуры является приборное исполнение модулей с их монтажом на DIN-рейку. Каждый модуль представляет собой прибор в корпусе со своим клеммником, который подключается к прибору с помощью разъемов. По сравнению с исполнением в виде плат, устанавливаемых в общий крейт, такое решение имеет целый ряд преимуществ: не возникают сложности с перекоммутацией существующих или добавлением новых внешних связей и техническим обслуживанием backplane (объединительной платы крейта) и разъемов, зачастую более рационально используется пространство шкафа. Например, в крейт можно установить предопределенное количество модулей ввода/вывода, если их нужно хотя бы на один больше, то приходится устанавливать дополнительный крейт или даже дополнительный шкаф. Простота внутренней коммутации шкафов уменьшает трудозатраты на их сборку, тестирование и последующее обслуживание. Имеется возможность подключать кабельные связи непосредственно на клеммники модулей. Возникает еще одна, важная в условиях ограниченного времени, возможность – выполнять сборку и поставку шкафов ПТК без модулей и устанавливать и подключать модули после завершения монтажа внешних связей шкафов. По опыту, установка и подключение модулей в шкафах ПТК занимают менее одной недели для всего энергоблока.

Аппаратура TREI имеет сертификат SIL3 (Safety Integrity Level – уровень полноты безопасности), выданный органом сертификации TUV SERT. Согласно IEC61508-1 этому уровню удовлетворяют технические средства с такой надежностью, при которой вероятность опасного отказа непрерывно выполняемой функции составляет 10^{-7} – 10^{-8} 1/час, а для дискретно выполняемой функции вероятность отказа

выполнения функции на требование составляет 10^{-4} – 10^{-3} 1/час (в более привычной величине вероятности успешной работы на требование 0,999–0,9999). Это позволяет использовать аппаратуру TREI как для реализации функции защиты, так и для остальных функций управления и унифицировать построение ПТК нижнего уровня. Типовая структурная схема информационно-управляющего комплекса нижнего уровня приведена на рис.1.

Информационно-управляющий комплекс (ИУК) состоит из шкафа с резервированными центральными процессорами, резервированными каналами связи на базе интерфейса RS485 с модулями ввода/вывода, размещенными в этом шкафу, или в шкафах удаленных УСО, или отдельно устанавливаемыми, например, в шкафах РТЗО. Первичное электропитание ИУК осуществляется от двух источников – переменного тока напряжением 220 В с АВР и постоянного тока напряжением 220 В от блочной аккумуляторной батареи. Выходы источников питания 24 В постоянного тока объединяются через развязывающие диоды. Применены высоконадежные источники питания, паспортная наработка на отказ источника составляет 800 тысяч часов. Описанная децентрализованная система электропитания ПТК нижнего уровня без громоздких централизованных источников бесперебойного питания упрощает систему и исключает отказ по общей причине. Центральные процессорные модули выполнены на базе плат PC104+ с памятью 256 Mb и быстродействием 400 MHz. Процессоры имеют энергонезависимую память для хранения программ и текущих параметров настройки. Каждый центральный процессор оснащен тремя интерфейсами 100 Мбит ETHERNET, из которых один используется для обмена с резервированными серверами верхнего уровня, один – для обмена заданной информацией между ИУК и третий – для обмена информацией между резервированными центральными процессорными модулями с целью выравнивания данных для безударного переключения. Интерфейсы RS485 обеспечивают обмен информацией с модулями ввода/вывода, к центральному процессорному модулю могут подключаться до 256 модулей ввода/вывода данных. С учетом функционального разделения задач управления между рядом ИУК (на блок 300 МВт устанавливается 6 ИУК и порядка 300 модулей ввода/вывода), имеется значительный резерв по коммуникационным возможностям центральных процессоров.

Из предлагаемой TREI номенклатуры модулей ввода/вывода в проекте Углегорской ТЭС используются следующие:

- модули на 16 каналов дискретного ввода и 16 каналов дискретного вывода. Данные модули используются для установки в шкафах РТЗО (по одному на шкаф) и обеспечивают прием дискретной информации о состоянии арматуры от концевых выключателей НЕ ОТКРЫТО и НЕ ЗАКРЫТО и выдачу команд управления ОТКРЫТЬ и ЗАКРЫТЬ;

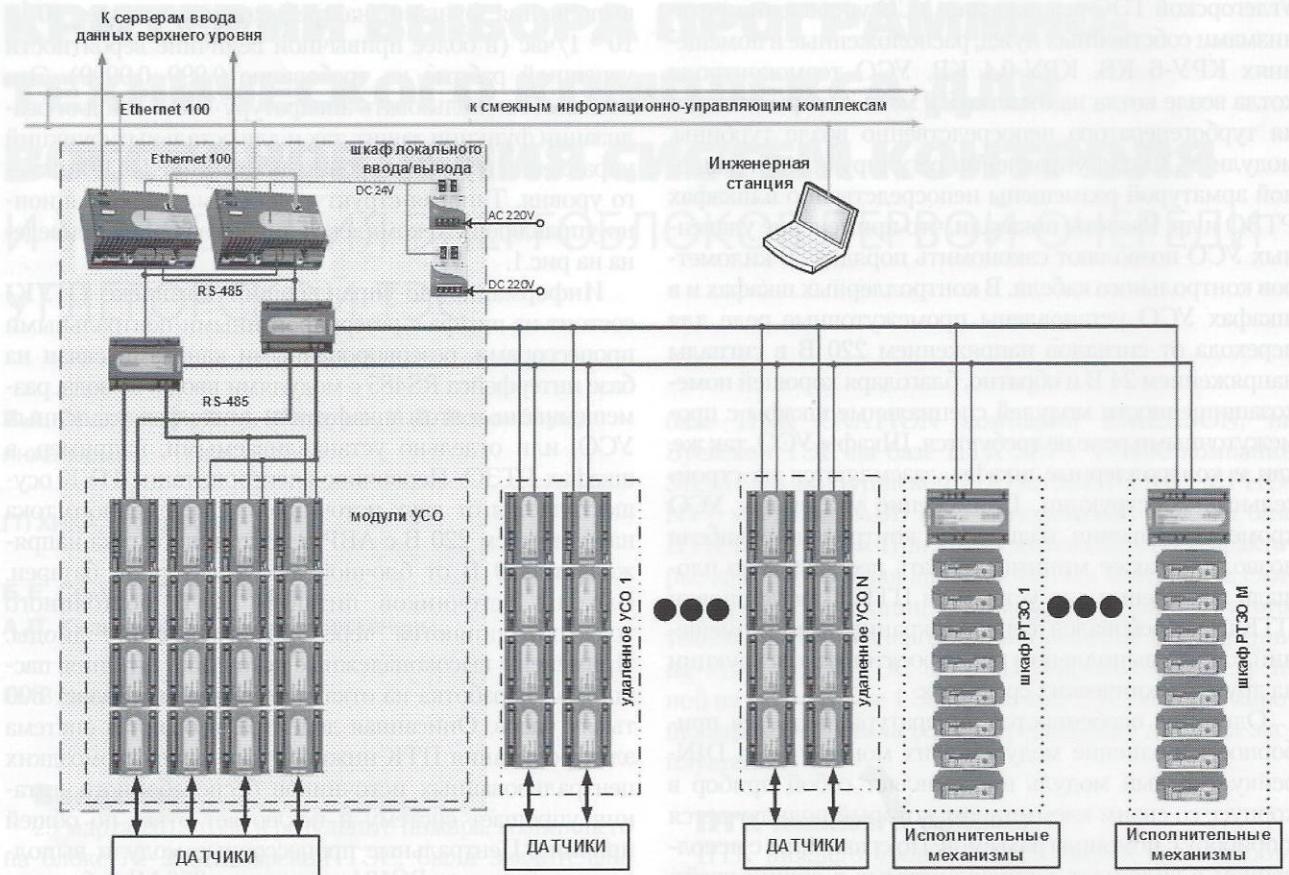


Рис. 1. Типова структурна схема информаційно-управлюючого комплекса нижнього рівня

- модули на 32 каналів дискретного ввода;
- модули на 32 каналів дискретного вивода;
- модули на 16 каналів аналогового ввода 4–20 мА з питанням датчика від модуля;
- модули на 16 каналів термопреобразувачів напряження (градуировка задається при конфігурированні модуля);
- модули на 8 каналів термопреобразувачів сопротивлення;
- модули управління соленоїдами та імпульсно-предохранительними клапанами.

Помимо перечислених, існують модули з можливістю програмування функцій та комбінації входів/вихідів (анalogові та дискретні входи/вихід). Ці модули дозволяють створювати автономні системи управління (без застосування центрального процесорного модуля), в частності, для реалізації задач управління, що потребують високого багаторівневості (наприклад, позиціонування регулюючих клапанів турбіни), конфігурація яких визначається на етапі проєктування/замовлення. Все модули мають власні комп’ютерні ресурси, які використовуються для обробки аналогових сигналів в фізичні величини та самодіагностики.

Все модули TREI мають вбудовану діагностику несправностей. Діагностична інформація передається на верхній рівень, де представляється в наглядній формі.

ном виді та реєструється. Роботоспроможність центрального процесорного модуля додатково контролюється з допомогою сторожевого таймера, при обнаруженні аппаратного отказу чи сбоя програмного забезпечення виконується безударний переход на резервний процесорний модуль. Також в СКУ реалізований переход на резервний процесор при отказі обмена з серверами ввода/вивода даних верхнього рівня.

Для реалізації функцій захищаютися використовуються резервовані канали вимірювання (двух- та трохкратне резервування), при цьому сигнали датчиків вводяться в різні модулі УСО.

По описаній уніфікованій структурній схемі построєні всі ІУК енергоблоку. Структурна схема ПТК нижнього рівня наведена на рис.2.

По функціональному призначенню відрізняються слідуючі ІУК:

- комплекс технологіческих захистів СТЗ;
- два комплекси для управління котлом АРК1 та АРК2;
- комплекс управління турбіною АРТ;
- комплекс управління електротехніческим обладнанням ЕТО;
- комплекс температурного контролю котла, турбіни, генератора СТК;
- аварійний пульт управління АПУ.

Программне забезпечення ПТК нижнього рівня

выполняется в среде ISAGRAF под управлением операционной системы реального времени QNX6 NEUTRINO. Базовое программное обеспечение всех ИУК унифицировано. Функциональное программное обеспечение ПТК разрабатывается в среде автоматизации программирования (САПР) ISAGRAF компании ICS TRIPPLEX Inc, которая поддерживает все пять языков программируемых логических контроллеров по стандарту IEC 61131-3 «Программируемые логические контроллеры. Часть 3. Языки программирования». В проекте Углегорской ТЭС, в основном, использован язык функциональных блоков FUNCTIONAL BUILDING BLOCKS – FBD, для описания последовательных технологических операций может использоваться язык последовательностей SEQUENTIAL FUNCTION CHART – SFC. Исполняемая система ISAGRAF обеспечивает передачу заданных данных и внутренних переменных функциональных блоков с основного процессора в резервный для обеспечения безударности переключения. Программное обеспечение ПТК нижнего уровня исполняется в защищенном адресном пространстве, что предотвращает возможность поражения вредоносными программами и сбои в работе из-за нехватки системных ресурсов.

В составе ISAGRAF имеется библиотека стандартных функций для реализации задач управления. Пользователю предоставляется возможность создавать собственные библиотеки функциональных блоков, используя один из языков IEC 61131-3. EMB-ЭНЕРГО имеет предварительно апробированные на ряде других проектов с разными типами ПТК как на тепловых, так и на атомных электростанциях сложные функциональные блоки. Эти блоки решают задачи управления исполнительными механизмами различных типов,

авторегулирования с электрическими исполнительными механизмами с постоянной скоростью, каскадного регулирования, технологических защит и сигнализации, автоматического включения резервных механизмов (АВР) и др. Все применяемые функциональные блоки хорошо документированы. Функциональные блоки специализированы под выполнение конкретных функций, в них отсутствует возможность модификации функции за счет установки каких-либо внутренних настроек (свойств). Это исключает ошибки разработчиков и позволяет однозначно понимать алгоритмы функционирования систем управления по их распечаткам/представлению на экране. В ISAGRAF обеспечивается автоматическое определение последовательности решения функциональных блоков и автоматический переход между страницами алгоритма. В совокупности поставляемые средства САПР и документация создают свойства открытости системы: персонал может вносить изменения в систему на уровне функциональных блоков, создавать собственные функциональные блоки, вводить в систему новые алгоритмы управления. Имеются мощные инструментальные средства отладки функционального программного обеспечения, такие как семантическая и синтаксическая проверка и проверка целостности базы данных в процессе генерации, задание входной информации в систему, представление информации о работе алгоритмов (выходные и промежуточные переменные) в режиме ON-LINE. Имеется возможность задавать циклы решения задач (в проекте для всех задач ПТК нижнего уровня задан цикл решения 100 мс), задавать последовательность решения алгоритмов, задавать последовательность выполнения задач для обеспечения безударности при холодном рестарте.

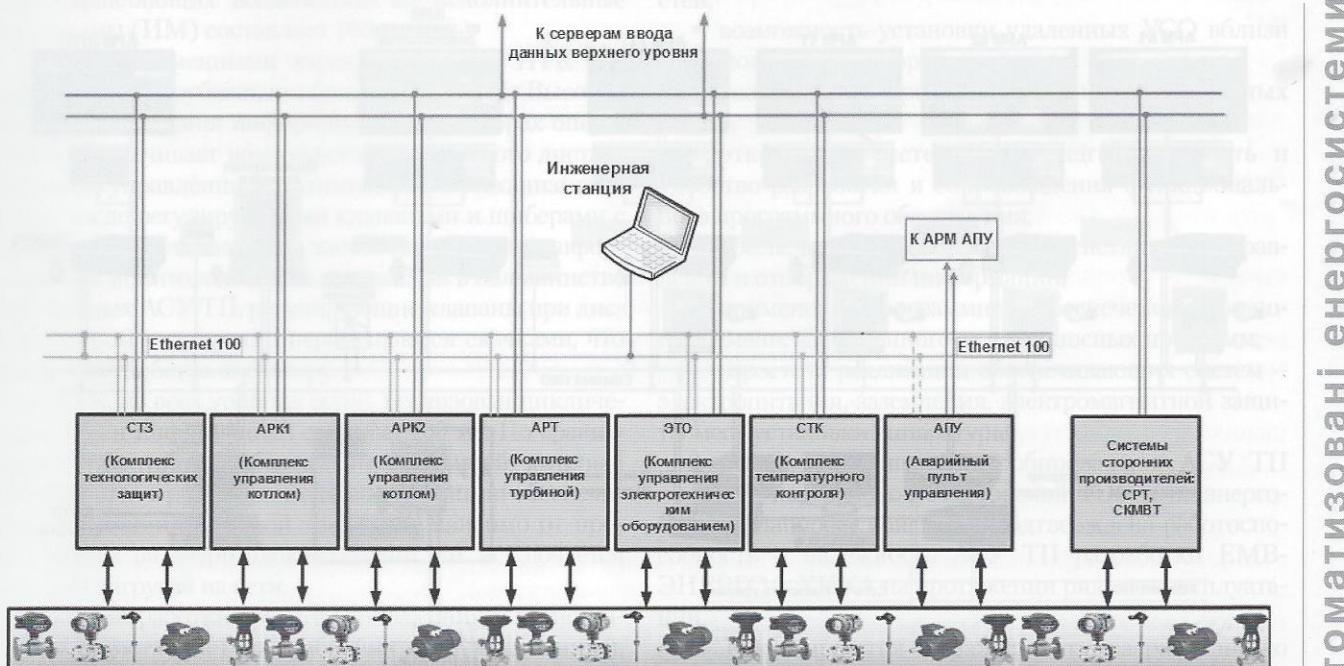


Рис. 2. Структурная схема ПТК нижнего уровня

ПТК верхнього рівня

ПТК верхнього рівня реалізований на IBM-сумісних промислових комп'ютерах з гарантійною продуктивністю та показниками надежності. Дана платформа обрана з урахуванням доступності, наявності різноманітної периферії та швидкого технічного розвитку. Структурна схема ПТК верхнього рівня блоків Углегорської ТЕС представлена на рис.3.

На блоках встановлені по два автоматизовані робочі місця оператора (АРМ) котла та турбіни, АРМ старшого машиніста та один АРМ електротехнічного обладнання. Кожний АРМ включає два монітори діагональю 23", один монітор діагональю 47", сенсорний монітор з діагональю 19", функціональну клавіатуру та трекбол. Монітори 47" використовуються як екрани колективного користування (ЕКП), на яких виводяться обобщені фрагменти по котлу, турбіні та електротехнічному обладнанню, а на ЕКП старшого машиніста виводиться інформація в формі віртуальних табло сигналізації. Для функцій управління використовуються сенсорні монітори та трекболи, для функції виклику інформації – трекболи через систему меню та функціональні клавіатури, на яких за кожною клавішою закріплена відповідна фрагмент.

Сервери ввода/вивода забезпечують зв'язок ПТК верхнього рівня з ПТК нижнього рівня, при цьому кожний центральний процесорний модуль ПТК нижнього рівня звязаний з двома серверами. Сервери приложений виконують функції реєстрації та документування інформації, та вирішення завдань обчислення техніко-економіческих показників. Весь ПТК верхнього рівня резервовано на програмно-апаратному та функціо-

нальному рівні: резервовані сітки обміну даними, сервери ввода/вивода та сервери приложений, операторські станції.

Все робочі станції (операторські, серверні) уніфіковані за технічними характеристиками та базовим програмним забезпеченням. Установка в операторських станціях додаткових відеокарт дозволяє виводити інформацію на три монітори. Компактні комп'ютери з пасивним охолодженням, встановлювані непосредственно в пультах управління, слугують для ввода/вивода інформації на сенсорні дисплеї. Система гарантованого живлення ПТК верхнього рівня децентралізована, що виключає викид по общиє причині, всі комп'ютери ПТК верхнього рівня, включаючи дисплеї, ЕКП та мережеве обладнання, оснащені своїми джерелами безперебойного живлення, розраховані на забезпечення роботоспроможності при виникненні електропитання впродовж 60 хвилин.

Операційна система (ОС) комп'ютерів ПТК ВУ представляє собою спеціальну складку для АСУ ТП на базі Linux (версія Fedora 14), яка забезпечує реалізацію многозадачного режиму, а також многооконного та многоекранного режима отображення інформації. Средства мережової обробки ОС забезпечують широковещательну та адресну передачу даних, а також дистанційний файловий доступ на базі протокола TCP/IP. В порівнянні з ОС WINDOWS дана система є системою реального часу та надає прикладним програмам ізольоване адресне пространство, що забезпечує захист програм від зовнішніх дій та пошкоджень.

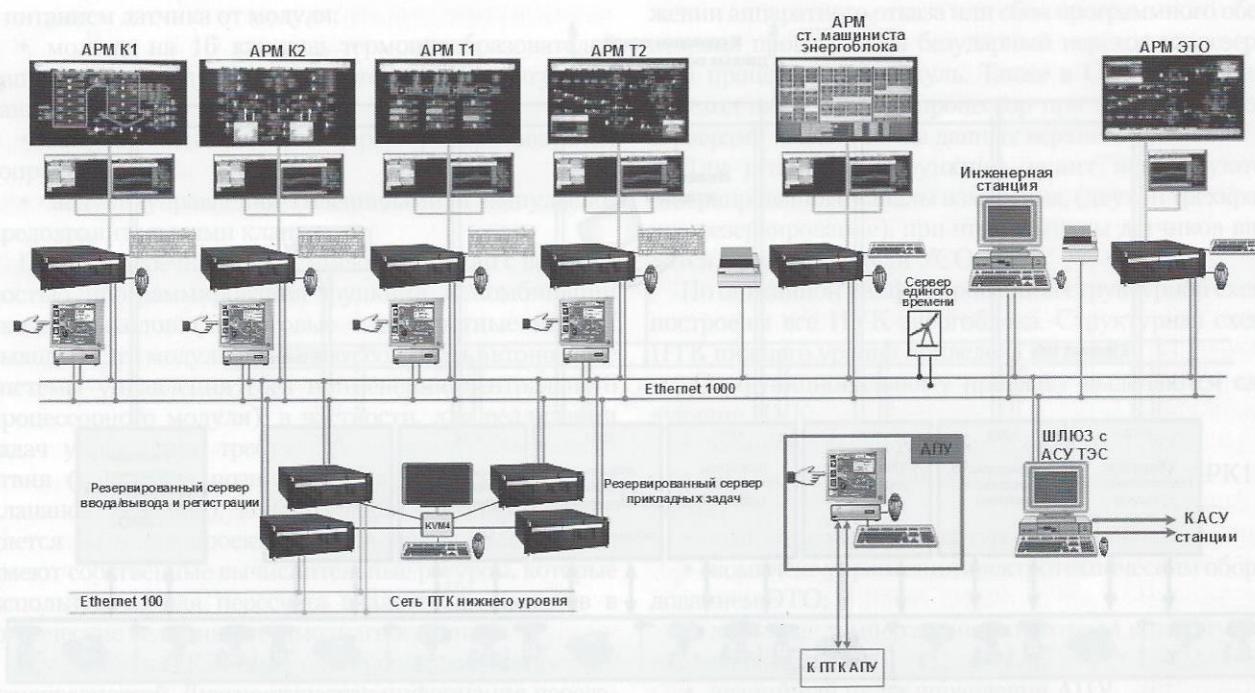


Рис. 3. Структурна схема ПТК верхнього рівня

Программное обеспечение ПТК ВУ разработано Харьковским научно-исследовательским институтом комплексной автоматизации (ХИКА) специально для проектов АСУ ТП ЕМВ-ЭНЕРГО.

Приняты все меры для обеспечения оперативности дисплейного управления. Это обеспечивается:

- наличием достаточного количества дисплеев операторов (по четыре на котел и турбину) и экранов коллективного пользования;
- наличием выделенного экрана коллективного пользования с функцией сигнализации на виртуальных табло;
- использованием удобных средств навигации для вызова фрагментов информации, в том числе быстрый вызов фрагментов, в которых произошли технологические нарушения;
- возможностью вызова видеокадров с функциональных клавиатур с мнемоничным группированием клавиш путем нажатия одной клавиши;
- наличием сенсорных дисплеев со специально разработанными видеокадрами, позволяющими одновременно открывать необходимое количество окон управления исполнительными механизмами и давать команды управления нажатием одной виртуальной клавиши;
- временными характеристиками ПТК верхнего уровня.

Реализованное ПТК ВУ обеспечивает следующие циклы решения задач:

- прием информации (аналоговые и дискретные сигналы) – 100 мс;
- представление информации на АРМ операторов-технологов – 250 мс;
- регистрация информации – 100 мс.

Время передачи команд управления до формирования управляющих воздействий на исполнительные механизмы (ИМ) составляет 100 мс.

Своими временными характеристиками ПТК ВУ превосходит зарубежные образцы АСУ ТП. Высокая частота обновления информации на мониторах операторов обеспечивает возможность дисплейного дистанционного управления исполнительными механизмами, в том числе регулирующими клапанами и шиберами с малым временем хода. При частоте обновления информации на мониторах 1 с, реализованной в большинстве зарубежных АСУ ТП, регулирующие клапаны при дистанционном управлении перемещаются скачками, что создает неудобства оператору.

В ПТК, на всех уровнях сетей, реализован циклический обмен информацией с тактом 100 мс. По сравнению с событийным обменом информацией, который применяется в ряде систем, данный принцип обеспечивает неизменный сетевой трафик независимо от происходящих на энергоблоке событий, т.е. исключается пиковая нагрузка на сети.

Среда разработки средств отображения и регистрации предоставляет разработчику дружественный, интуитивно понятный интерфейс, позволяет гибко

сочетать фрагменты мнемосхем с разными формами отображения параметров – цифровой с округлением последней значащей цифры и графической в виде гистограмм и графиков. Имеется возможность создавать новые комплексные динамические элементы и добавлять их в библиотеку отображения.

Результаты внедрения

Проектирование АСУ ТП блока 1 началось в июне 2013 года, а уже 8-го октября 2014 первый блок был включен в сеть. В середине ноября 2013 был включен в сеть энергоблок №4 и в апреле 2014 года энергоблок №3. Описанные сжатые сроки обеспечивались выбором ПТК с учетом описанных положительных характеристик и наличием опыта внедрения АСУ ТП на подобном блоке 300 МВт Запорожской ТЭС у украинских организаций – ЕМВ-ЭНЕРГО (разработка, проектирование, изготовление ПТК нижнего уровня, пуско-наладочные работы), ХИКА (разработка программного обеспечения верхнего уровня) и Спецэнергомонтаж (монтаж ПТК и полевого оборудования). Важную роль во внедрении сыграл персонал Углегорской ТЭС, оказавший полное содействие в разработке, проектировании и наладке, в кратчайшие сроки освоивший как эксплуатацию самого ПТК, так и управление автоматизированным энергоблоком.

Выводы

1. Определены основные подходы к оптимизации выбора ПТК для реализации АСУ ТП энергоблоков. Основные из них:

- эксплуатационная надежность, резервирование ответственных компонентов, диагностика неисправностей;
- возможность установки удаленных УСО вблизи технологического оборудования;
- возможность реализации интеллектуальных РТЗО;
- открытость системы, документированность и удобство разработки и сопровождения функционального программного обеспечения;
- обеспечение высокого быстродействия при управлении и отображении информации;
- применение программного обеспечения реального времени, защищенного от вредоносных программ;
- простота реализации обеспечивающих систем – электропитания, заземления, электромагнитной защиты мест установки аппаратуры.

2. Принятые решения апробированы в АСУ ТП четырех энергоблоков Углегорской ТЭС и на энергоблоке 1 Запорожской ТЭС. Подтверждена работоспособность и надежность АСУ ТП разработки ЕМВ-ЭНЕРГО – ХИКА на протяжении ряда лет эксплуатации.

3. Рекомендуется тиражировать разработанную АСУ ТП на другие электростанции Украины.