

САУ резервной дизель-генераторной электростанции аварийного электропитания энергоблока АЭС

Белохин О.М., Бондарев Г.А., Чернышов М.А., Шеремет В.И.
ООО Вестрон", г.Харьков

Введение

Существующие на АЭС Украины и АЭС других стран СНГ средства управления РДЭС в основном выработали свой ресурс, требуют постоянного сервисного обслуживания по их ремонту, усложненного тем обстоятельством, что производство многих изделий для замены уже не поддерживаются производителями.

С другой стороны существующие средства управления РДЭС не соответствуют современным требованиям НТД по безопасности АЭС. Эти средства управления не обеспечивают непрерывный автоматический контроль состояния как оборудования ДГУ, так и САУ, включая диагностику выявленных неисправностей с формированием и регистрацией информационных сигналов, позволяющих локализовать места поиска неисправности. Кроме того, существующие средства управления не обеспечивают устойчивость к единичным отказам, не имеют средств для восстановления обстановки, предшествующей аварийной ситуации, и хода ее развития, а также средств фиксации действий обслуживающего персонала в этих условиях.

Работы по модернизации средств управления РДЭС предусматривают:

- повышение надежности путем замены устаревших компонентов системы управления на современную систему автоматического управления (САУ) РДЭС без конструктивных изменений основного оборудования;
- продление ресурса до 30 и более лет и технической поддержки в течение всего срока эксплуатации;
- выполнение современных требований НТД по автоматизации и диагностированию;
- проведение работ по модернизации в сжатые сроки;
- учет в структуре САУ переменного состава ДГ и оборудования собственных нужд РДЭС для энергоблоков различных АЭС.

Учитывая существующие проблемы эксплуатации систем управления РДЭС АЭС, предприятием Вестрон было разработано Техническое задание ТЗ-ВН.636.212.001 на программно-технический комплекс систем автоматического управления резервными дизель-электрическими станциями. ТЗ распространяется на создание (разработку, изготовление и приёмку) головного образца и поставочных комплектов ПТК САУ РДЭС, предназначенных для применения на атомных электростанциях, в том числе на энергоблоках АЭС Украины с реакторами типа ВВЭР, предприятиях тепловой энергетики и других отраслей промышленности.

В соответствии с требованиями ТЗ Вестроном был изготовлен головной образец ПТК САУ РДЭС и выпущена программа проведения его межведомственных испытаний (МВИ). ТЗ и программа МВИ утверждены НАЭК «Энергоатом» и согласованы ГК ЯРУ Украины.

По результатам проведенных МВИ комиссия, возглавляемая представителем НАЭК «Энергоатом», посчитала возможным постановку на производство ПТК САУ РДЭС и рекомендовала использование ПТК САУ РДЭС ООО «Вестрон» в качестве технической базы САУ РДЭС АЭС при их реконструкции и модернизации.

Конкретным примером реализации общего подхода, изложенного в ТЗ на САУ РДЭС, является модернизация систем управления РДЭС энергоблока №2 Армянской АЭС.

Модернизация систем управления РДЭС на Армянской АЭС

Краткое описание существующих систем управления

На энергоблоке №2 Армянской АЭС имеется четыре дизель-генератора 15Д100, служащие для питания потребителей электрической энергией переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 6300 В. Четыре дизель-генератора работают на две независимые шины системы аварийного электроснабжения (САЭ). К каждой шине САЭ подключаются по два ДГ, которые должны работать в параллель на общую нагрузку.

Дизель-генераторы до модернизации систем управления были оборудованы щитами управления ШЭС. Щит ШЭС был предназначен для дистанционного и автоматического управления дизель-генератором и вспомогательным оборудованием и был построен на релейных элементах логики и индикаторах световой сигнализации накаливаемого типа.

Аналоговые датчики параметров и показывающие приборы ДГ и ТС РДЭС обеспечивали, как правило, только визуальный контроль параметров непосредственно в местах установки показывающих приборов или на контрольном щите в машинном зале.

Средства управления, внедренные в январе 1980 года, давно выработали свой ресурс и не соответствуют требованиям действующих НТД по безопасности.

Особенности выполнения работ

Особенности выполнения работ по созданию модернизированной САУ РДЭС на Армянской АЭС связаны с:

- требованием управления двумя ДГ, работающими на общую нагрузку, с учетом взаимодействия с поставленными ранее системами автоматического регулирования частоты вращения дизеля (САРЧ);
- требованием реализации автоматической точной взаимной синхронизации двух ДГ, работающих на штатную нагрузку, и одного отдельно взятого ДГ, подключаемого к активной сети при опробованиях.

Назначение и функции модернизированной системы

САУ предназначена для управления, контроля, защиты и информационного обеспечения эксплуатации агрегата, состоящего из двух ДГ, и технических средств, обеспечивающих собственные нужды дизель-генераторов в составе САЭ энергоблока.

САУ обеспечивает функции автоматизации и КИП, в том числе:

- поддержание ДГ в режиме постоянной готовности к автоматическому пуску;
- автоматический (по обесточиванию и АЗ блока) и автоматизированный пуск ДГ (со взаимной автоматической точной синхронизацией двух ДГ при подключении к шине САЭ);
- автоматизированный останов ДГ с местных и дистанционных щитов управления АЭС с преобладанием команды “Пуск” над другими командами;
- поддержание требуемых параметров двух ДГ в режиме работы на мощности (на общую штатную нагрузку);
- опробование каждого (одного) ДГ на холостом ходу и с нагрузкой на сеть (с автоматической точной синхронизацией с сетью);
- защиту ДГ путем определения предельных значений параметров и вывода ДГ из действия в режиме экстренной остановки;
- контроль параметров дизеля, генератора и наружных систем собственных нужд РДЭС;
- автоматическое и ручное управление оборудованием собственных нужд;
- формирование и вывод информации на видеоконтрольные устройства для оперативного персонала;
- регистрацию информации на жестком диске с возможностью вывода ее на бумажный носитель;

- возможность формирования и передачи информации на внешнюю рабочую станцию верхнего уровня для регистрации параметров и ведения отчетности в едином месте для всех САУ РДЭС АЭС.

Основные принципы построения

При создании САУ РДЭС были использованы следующие структурные и проектные решения, обеспечивающие современный уровень и выполнение требований НТД по безопасности:

- использование современных промышленных высоконадежных средств вычислительной техники;
- резервирование элементов системы, обеспечивающих реализацию ответственных управляющих функций, связанных с автоматическим пуском ДГУ и ее работой на мощности, а также функций неотключаемых защит для дизеля и генератора;
- постоянная диагностика и локализация неисправностей до сменного модуля;
- формирование и регистрация информации для диагностики оборудования и анализа событий и действий персонала во всех, включая аварийные, режимах работы;
- модульное построение на унифицированных программно-аппаратных и электротехнических средствах, обеспечивающее расширяемость функций системы, удобство эксплуатации и эксплуатационную поддержку от производителя средств в течение всего назначенного срока службы;
- обеспечение дежурному оператору встроенных средств представления и регистрации информации по ДГУ;
- обеспечение выдачи информации на внешнюю рабочую станцию верхнего уровня для регистрации параметров и ведения отчетности для всех САУ РДЭС АЭС;
- использование для реализации ответственных функций с целью обеспечения устойчивости к единичному отказу:
 - 3 (или 2) датчиков для одноименной информации и прием сигналов от них на 3 (или 2) независимые группы модулей ввода;
 - 2 плат функциональных процессоров для дублированной обработки принятой информации;
 - 3 встроенных контроллеров ввода/вывода для обмена данными между функциональными процессорами и группами модулей ввода/вывода, относящимся к разным каналам резервирования;
 - 2 микроконтроллеров на каждой плате функционального процессора, обеспечивающих параллельную обработку данных с непрерывным контролем несоответствия в результатах их работы;
 - 3 канального вывода сигналов управления (через модули вывода, относящиеся к 3 различным группам) с последующей мажоритарной выборкой по схеме «2 из 3».

По классификации систем в соответствии с НП 306.5.02/3.035-2000 САУ РДЭС относится ко 2 классу безопасности и имеет классификационное обозначение 2НУ, по ГОСТ 14228-80 относится к 4 степени автоматизации.

Оборудование САУ РДЭС относится к категории сейсмостойкости I согласно ПНАЭ Г-5-006-87.

Внешнее оборудование рабочего места дежурного оператора, поставляемое по условиям заказа, относится к 4 классу безопасности.

Состав, структура и функционирование системы

Ядром системы является программно-технический комплекс САУ РДЭС.

В состав ПТК САУ РДЭС для Армянской АЭС входит в качестве основы комплекс технических средств (КТС) "Вулкан-М САУДГ-А", содержащий следующие эксплуатационно-автономные изделия:

- основные субкомплексы сбора и обработки информации СКСО 1 и СКСО 2;
- субкомплексы сбора и обработки информации СКСО 1Х и СКСО 2Х для управления дизелем и генератором (расширения СКСО 1 и СКСО 2, соответственно);
- субкомплексы рабочих станций СКРС 1 и СКРС 2 (оборудование местных постов управления для каждого ДГ, расположенных в машинных залах РДЭС);
- комплект кабелей для связи эксплуатационно-автономных изделий ПТК САУ РДЭС между собой и с сопрягаемыми оборудованием и системами.

С целью обеспечения управления двумя ДГ комплекс технических средств "Вулкан-М САУДГ-А" включает в себя комбинацию двух комплектов КТС головного образца ПТК САУ РДЭС.

Кроме комплекса технических средств "Вулкан-М САУДГ-А" в состав ПТК САУ РДЭС входят:

- две цифровые системы управления возбуждением АРВ-СГ-48-4.0-D2-2N-УХЛ4;
- комплекс программ комплекса «Вулкан-М САУДГ-А», содержащий базовое и прикладное программное обеспечение для СКСО и СКРС;
- комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП);
- комплект принадлежностей ИК, включающий датчики теплотехнических и электрических параметров, предназначенные для замены, а также вновь вводимые;
- комплект эксплуатационной документации.

Структура ПТК «ВУЛКАН-М САУДГ-А» в части одного ДГ представлена на рис. 1.

Каждый ДГ одной РДЭС в части основных функций управляется соответствующим индивидуальным набором субкомплексов и систем: первый ДГ РДЭС управляется субкомплексами СКСО 1, СКСО 1Х, СКРС 1 и одной цифровой системой управления возбуждением, второй ДГ РДЭС управляется субкомплексами СКСО 2, СКСО 2Х, СКРС 2 и второй цифровой системой управления возбуждением.

Часть информационных функций для обоих ДГ РДЭС реализуется совместно («перекрестно») двумя субкомплексами СКСО 1Х и СКСО 2Х.

К этим функциям относятся:

- организация «ядра» сети верхнего уровня ПТК (дублированной сети Fast Ethernet с использованием двух коммутаторов с оптическими портами);
- прием рабочими станциями СКСО 1Х и СКСО 2Х цифровых данных от нижнего уровня ПТК (от СКСО 1 и СКСО 2) по дублированным каналам связи на базе интерфейса RS-485;
- взаимный обмен данными, принятыми рабочими станциями СКСО 1Х и СКСО 2Х;
- передача принятых данных рабочим станциям СКРС 1, СКРС 2 по сети верхнего уровня.

Функционально основной субкомплекс СКСО содержит дублированные модули функциональных процессоров (платы ФП), дублированные модули мониторинга (платы ПМ), рассматриваемые в совокупности как дублированные контроллеры нижнего уровня ПТК, три модуля контроллеров связи RS-485, три крейта с модулями ввода/вывода непрерывных (аналоговых) и дискретных электрических сигналов.

Каждая из плат ФП связана через встроенные три контроллера магистралей ввода-вывода с модулями ввода-вывода по трем независимым, гальванически изолированным магистральям, построенным на базе интерфейса RS-485.

Одна из плат ФП является основной и управляет процессом сбора информации с плат ввода и обменом информацией с модулями контроллеров связи.

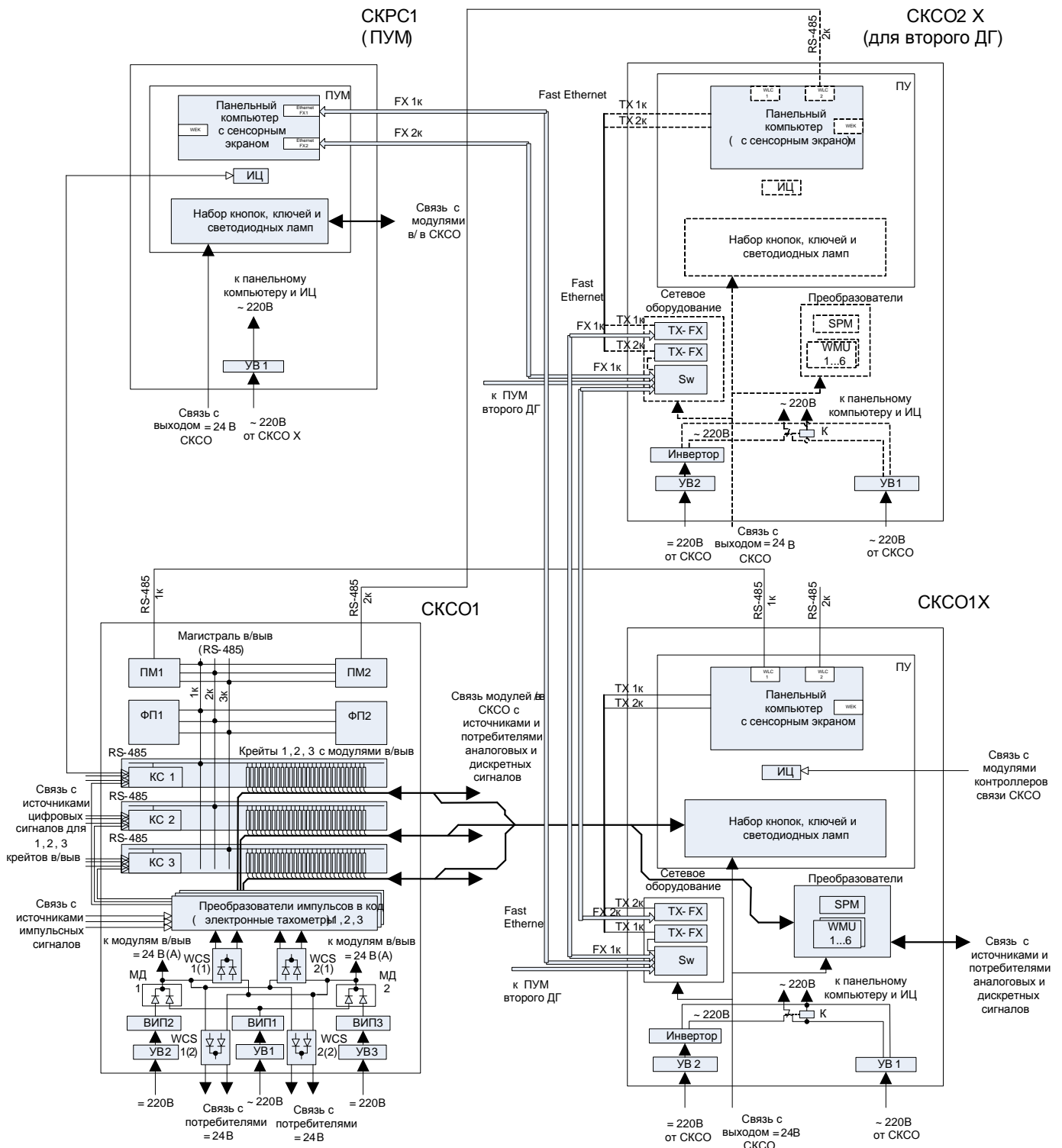


Рисунок 1. Структура ПТК «ВУЛКАН-М САУДГ-А» (для одного ДГ)

Условные обозначения к рисунку 1:

1к, 2к	- первый и второй каналы;	FX	- оптоволоконный кабель Fast Ethernet;
в/в	- ввод/вывод;	TX-FX	- преобразователь среды передачи данных 10/100BaseT(X) в 100BaseFX;
ВИП	- вторичный источник питания;	SPM	- преобразователь разности частот в непрерывный потенциальный сигнал (синхронизатор частоты и фазы);
ИЦ	- индикатор цифровой;	Sw	- коммутатор Fast Ethernet;
К	- реле;	TX	- витая пара Fast Ethernet;
КС	- контроллер связи;	WEK	- аппаратный ключ ПО – плата WEK;
МД	- модуль диодный;	WCB	- плата диагностики
ПМ	- плата мониторинга;	WCS	- плата надежного питания - плата WCS;
ФП	- функциональный процессор;	WLC	- плата контроллера связи RS-485 – плата WLC;
ПУМ	- пульт управления местный (с органами контроля и ручного управления);	WMU	- преобразователь 3 канального сигнала в мажоритированный по схеме "2 из 3"
ПУ	- панель управления (с органами контроля и ручного управления);	RS-485	- витая пара магистрали RS-485.
УВ	- устройство ввода первичного питания;		
Ethernet FX	- контроллер сети – плата Ethernet FX;		

Прием информации и ее алгоритмическая обработка, а также формирование выходных параметров (управляющих и сигнальных), выдача диагностической информации на модули мониторинга (платы ПМ) выполняют обе платы ФП. Выдачу же выходных параметров на выходные модули и модули контроллеров связи для формирования выходных электрических сигналов осуществляет только основная плата ФП. Вторая плата ФП (резервная) кроме указанных действий выполняет контроль исправности основной платы ФП и в случае неисправности последней берет управление на себя. После замены неисправной платы ФП на исправную, последняя становится резервной, а основной платой ФП по-прежнему остается та, которая перед этим взяла на себя функции управления.

Для сбора диагностической информации о состоянии работы ПТК, а также для передачи технологических и диагностических параметров системы в рабочую станцию СКСО 1Х (СКСО 2Х) применяются платы мониторинга (ПМ). Платы ПМ прослушивают информацию, передаваемую по трем магистралям ввода-вывода, и не принимают непосредственного участия в обмене данными по этим магистралям. Контроллеры магистралей ввода-вывода плат ПМ также как и плат ФП независимы друг от друга и имеют гальваническую изоляцию.

Модуль функционального процессора (плата ФП) построен на базе двух микропроцессоров dsPIC33FJ256GP506 (фирмы Microchip) со встроенными 16Кб ОЗУ и 256Кб ППЗУ. Плата ФП имеет дополнительно 128 Кб ОЗУ и 128 Кб ППЗУ и обеспечивает производительность до 32MIPS. Плата ФП оборудована двумя ЦПУ, реализующими дополнительные средства обнаружения и защиты от отказов и сбоев. Плата ФП оборудована аппаратными сторожевыми таймерами, обеспечивающими дополнительные возможности в критических приложениях, и имеет пять гальванически изолированных каналов связи (RS-485 интерфейс), три из которых используются для связи с модулями ввода-вывода.

Модули мониторинга (ПМ) и контроллера связи (КС) реализованы на аналогичных аппаратных средствах, что и модули функционального процессора (ФП).

Субкомплексы расширения СКСО 1Х и СКСО 2Х содержат элементы нижнего и верхнего уровня ПТК. Нижний уровень: набор релейных модулей WMU, синхронизатор частоты и фазы напряжения генератора ДГ SPM, панель управления с набором органов сигнализации и органов ручного управления, цифровой индикатор частоты вращения ДГ. Верхний уровень: рабочая станция на базе панельного компьютера, сетевое оборудование Fast Ethernet.

Через WMU выходные сигналы с модулей дискретного вывода СКСО 1 и СКСО 2, соответственно, выдаются во внешнее для ПТК оборудование. Модули WMU обеспечивают мажоритарную выборку из троированных выходных сигналов, формируемых модулями вывода; преобразование, при необходимости, уровня выходного сигнала «24В/220В», а также донесение о выдаче сигнала, возвращаемого в СКСО 1 (СКСО 2) на модули ввода (так называемый «эхо-контроль»).

Синхронизатор (SPM) в СКСО 1Х (СКСО 2Х) связан с измерительными трансформаторами системы, от которых получает информацию о напряжении на выходе генератора и напряжении на секции САЭ. Сравнивая величины этих напряжений и определяя разность их фаз синхронизатор формирует потенциальный сигнал управления, который выдает в САРЧ на ее электронный регулятор частоты вращения ДГ, меняя тем самым его уставку. При попадании разности напряжений и фаз в заданный «коридор», допустимый для подключения генератора к сети синхронизатор формирует дискретный сигнал разрешения подключения и выдает его на модуль ввода СКСО 1 (СКСО 2). Синхронизатор установлен на панели управления (на передней двери) СКСО 1 (СКСО 2), что позволяет наблюдать по его встроенной индикации за разностью фаз напряжений на секции САЭ и не подключенного к секции генератора.

Органы сигнализации и ручного управления установлены на панели управления СКСО 1Х (СКСО 2Х) и предназначены для контроля состояния и режима работы САУ по ДГ1 (ДГ2), а также для ручного аварийного останова, сброса блокировки, управления оборотами дизеля и переключения режима работы ПТК.

Цифровой индикатор частоты вращения ДГ, установленный на панели управления СКСО 1Х (СКСО 2Х), обеспечивает представление оператору значения частоты вращения в цифровом виде (с четырьмя знаками). Сигнал частоты вращения принимается по каналу RS-485 от контроллера связи СКСО 1 (СКСО 2). Этот сигнал формируется как результат обработки в СКСО 1 (СКСО 2) сигналов от трех датчиков частоты вращения (тахометров).

Рабочая станция СКСО 1Х (СКСО 2Х) на базе панельного компьютера, вмонтированная в центральную часть панели управления, используется для:

- приема оперативной технологической и диагностической информации от плат мониторинга ПМ СКСО по цифровым каналам связи (работает в качестве сервера связи по интерфейсу RS485);
- архивирования принимаемой от плат ПМ оперативной технологической и диагностической информации, архивирования действий оператора, диагностической информации по рабочим станциям (работает в качестве сервера архивирования);
- взаимной («перекрестной») передачи информации, принимаемой от плат ПМ, а также информации о результатах самодиагностики панельного компьютера, в рабочую станцию СКСО 2Х (СКСО 1Х) по оптоволоконной сети Fast Ethernet;
- представления оператору оперативной и архивной информации на сенсорном экране встроенного монитора;
- установки подрежима режима ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ (с сенсорного экрана встроенного монитора);
- индивидуального управления с сенсорного экрана встроенного монитора оборудованием СН в режиме ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ;
- изменения настроечных коэффициентов алгоритмов, реализуемых функциональными процессорами;
- проведения тестирования оборудования ПТК.

Рабочие станции СКСО 1Х и СКСО 2Х в части функций сервера архивирования и сервера связи работают в дублированной конфигурации.

Для связи всех рабочих станций используются сетевые коммутаторы Fast Ethernet с оптическими портами, для подключения линий связи, выходящих за пределы шкафа.

Субкомплексы СКРС 1 и СКРС 2 являются панелями управления местными (ПУМ), устанавливаемыми в машзалах ДГ-1 и ДГ-2 одной РДЭС, соответственно. Каждый из них содержит элементы нижнего и верхнего уровня ПТК. Нижний уровень: набор органов сигнализации и органов ручного управления, цифровой индикатор частоты вращения ДГ. Верхний уровень: рабочая станция на базе панельного компьютера, сетевое оборудование Fast Ethernet.

Набор органов сигнализации и органов ручного управления, цифровой индикатор частоты вращения ДГ и рабочая станция на базе панельного компьютера в СКРС 1 (СКРС 2) аналогичны

применяемым в СКСО 1Х (СКСО 2Х) и выполняют те же функции. Исключением является отсутствие переключателя режимов работы САУ по ДГ-1 (ДГ-2) РДЭС.

Внешний вид оборудования ПТК САУ РДЭС (для одного ДГ) представлен на фото ниже.



На фото слева направо показаны: СКРС, СКСО Х и СКСО (с открытой передней дверью).

Программное обеспечение ПТК разделяется на ПО контроллеров (встроенное ПО нижнего уровня, прошитое в ПЗУ плат) и ПО рабочих станций (ПО верхнего уровня). ПО нижнего уровня, разработанное предприятием "Вестрон", представляет собой машинные коды системы команд микроконтроллеров, обеспечивающие выполнение основных функций ПТК, в том числе функции автоматического пуска, работе на мощности и функции неотключаемых защит.

ПО рабочих станций представляет собой традиционную композицию системного ПО на базе операционная система MS Windows XP Professional SP2 и прикладного ПО разработки предприятия Вестрон.

Выводы

В Вестроне завершен комплекс работ по проектированию, испытаниям и отработке технических решений САУ РДЭС для АЭС, и в частности для АЭС с ректорами ВВЭР-440, ВВЭР-1000. В результате этих работ:

- разработано, утверждено НАЭК «Энергоатом» и согласовано ГК ЯРУ Украины ТЗ на ПТК САУ РДЭС (ТЗ-ВН.636.212.001);
- головной образец ПТК САУ РДЭС успешно прошел межведомственные испытания (МВИ) по утвержденной НАЭК «Энергоатом» и согласованной ГК ЯРУ Украины программе;
- по результатам межведомственных испытаний ПТК САУ РДЭС на базе КТС Вулкан/Вулкан-М рекомендован к использованию на АЭС Украины;
- изготовлены два поставочных комплекта ПТК САУ РДЭС для энергоблока №2 Армянской АЭС, являющиеся конкретной реализацией общего подхода к построению САУ РДЭС, изложенного в ТЗ-ВН.636.212.001;
- ПТК САУ РДЭС для энергоблока №2 Армянской АЭС прошли с положительными результатами все испытания и поставлены на объект внедрения.