
«Идеальный программно-технический комплекс для энергетики»: от постановки проблемы к решению

Выпуск 3'2000

В.А. Менделевич

*Программно-технический комплекс (ПТК)
на основе новой технологии построения
распределенных систем управления.*

В последние годы номенклатура предложений на рынке средств автоматизации существенно расширилась. Появилось семейство изделий PC-based control (построенное непосредственно на компьютерах и платах ввода-вывода), массовое распространение получили PC-совместимые контроллеры, полевые сети нового поколения, интеллектуальные датчики, подключаемые к полевой сети; в сетях верхнего уровня активно начал использоваться Ethernet и т.п.

Однако, несмотря на разнообразие предложений, использование существующих средств для построения АСУТП энергетических объектов порождает ряд серьезных проблем:

- традиционные многоканальные контроллеры требуют больших средств на приобретение сопутствующего оборудования (шкафов, кабелей, пультов местного управления) и выполнение проектных и монтажных работ;
- при модернизации существующих систем управления возникает проблема размещения шкафов контроллеров в заполненных оборудованием релейных и щитовых помещениях;
- максимально распределенные системы, построенные на «сетевых» микропроцессорных датчиках и индивидуальных контроллерах на каждое исполнительное устройство, оказываются дороги и недостаточно надежны для автоматизации крупных территориально сосредоточенных объектов типа энергоблока (их «узким местом» становится нерезервированная низкоскоростная полевая сеть, а затраты на микропроцессорные устройства возрастают столь резко, что экономия сигнального кабеля не способна их компенсировать).

Решение указанных проблем требует нахождения компромисса между распределенностью, надежностью и стоимостью компонентов программно-технического комплекса.

Обеспечение требуемых качественных характеристик ПТК (надежность, функциональность, удобство в эксплуатации и т.п.) должно сопровождаться **минимизацией суммарной (совокупной) стоимости** внедрения АСУТП на его основе.

Можно также показать, что минимизации совокупной стоимости внедрения ПТК при постоянных качественных характеристиках, обеспечивает **минимизацию совокупной стоимости владения** (стоимость ремонтов и работ по обслуживанию за время жизни изделия).

ПТК, обеспечивающий оптимальные ценовые характеристики при требуемом качестве реализации функций, будем называть идеальным.

Информационные характеристики объектов управления

Современные распределенные многоуровневые системы управления строятся по

объектному принципу - каждый уровень АСУТП соответствует некоторому уровню технологического объекта управления (ТОУ), а каждому элементу АСУТП - один или несколько элементов ТОУ соответствующего уровня. Установление такого соответствия значительно повышает надежность системы и уменьшает интенсивность сетевых обменов, т.к. ввод/вывод информации и ее обработка максимально локализуются.

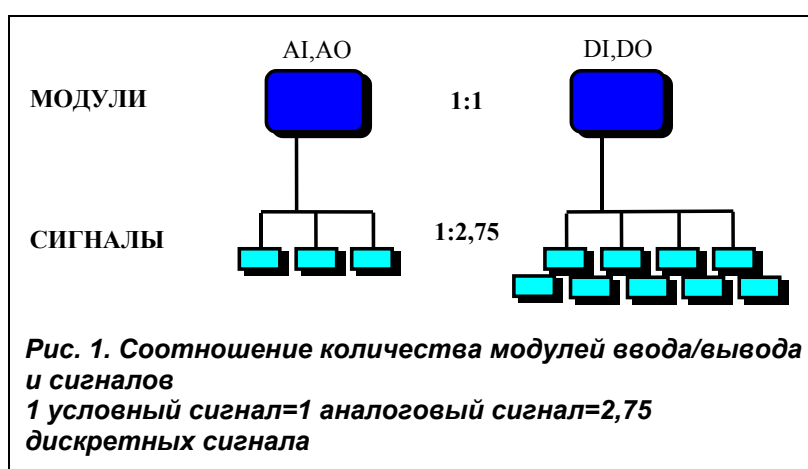
Таким образом, анализ требуемых характеристик ПТК необходимо начать с анализа структуры объекта управления и информационных характеристик его элементов.

Основная информационная характеристика объекта - количество сигналов - всегда используется при выдаче задания на разработку АСУТП, однако, многообразие типов сигналов препятствует ее эффективному использованию. Для решения проблемы нередко прибегают к простому суммированию сигналов всех типов, выводя характеристику «общее число сигналов», однако подобная операция также абсурдна как суммирование дюймов и сантиметров (или рублей и долларов).

Способ корректного суммирования разноразмерных величин также давно известен - в объединительных выражениях должны использоваться коэффициенты пересчета из одной единицы в другую.

Для определения коэффициента пересчета из одного типа сигнала в другой наиболее логично использовать соотношение количества каналов ввода/вывода на соответствующих модулях связи с объектом, т.к. именно модуль является элементом проектной компоновки. Чтобы полученную характеристику эффективно использовать для стоимостной минимизации, целесообразно также ввести некоторую поправку на соотношение стоимостей каналов сопоставляемых типов.

Даже беглое исследование сигнальной (канальной) емкости модулей различных типов показывает, что при одинаковом уровне гальванической развязки (у обоих типов индивидуальная или групповая)



соотношение количества каналов между модулями дискретных входов и дискретных выходов близко к 1, между аналоговыми модулями различного типа также (например, 16 унифицированных входов или 16 входов от термопар), а между аналоговыми и дискретными лежит в интервале от 2-х до 3-х. Учет поправки на соотношение стоимостей привел

автора к усредненному коэффициенту 2,75:

Именно этот коэффициент будет использован в дальнейших обоснованиях, хотя качественная картина мало изменится при колебании его в пределах от 2,5 до 3,0.

Традиционно и разработчики АСУТП, и производители контроллеров предполагали, что количество сигналов, требуемое для автоматизации оборудования различного типа, равномерно распределено на всем интервале от 0 до сотен сигналов, однако, использование более корректных преобразований выявило ярко выраженную неравномерность распределения!

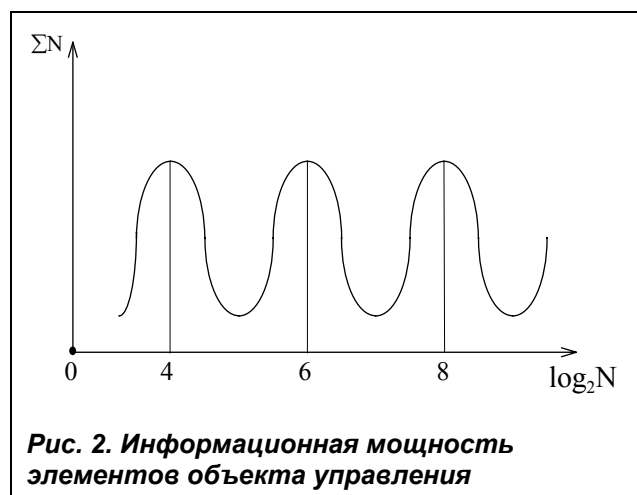
На интервале от 0 до 500 условных сигналов (у.с.) наблюдаются 3 ярко выраженных пика:

1. Типовой аппарат, шкаф одноканальных приборов, шкаф РТЗО (!) - 12-18 у.с.;
2. Малая установка (воздушный компрессор, малый котел), функциональная группа оборудования, группа аппаратов, шкаф многоканальных приборов - 50-70 у.с.;
3. Средняя установка (крупный водогрейный котел, компрессор, турбогенератор на средние параметры), функциональная система крупной установки - 180-270 у.с.

Изобразим полученное распределение на графике. По оси X отложим информационную мощность типового элемента - $\log_2 N$ (где N - число условных сигналов элемента) - самую распространенную в теории информации характеристику. По оси Y - суммарное количество у.с. всех элементов объекта указанной информационной мощности.

Изображенная зависимость получена эмпирическим путем, но четко наблюдается на всех энергетических объектах, для которых проводилась ее проверка. Пиковыми являются значения информационной мощности, равные 4 (16 у.с.), 6 (64 у.с.) и 8 (256 у.с.).

Из обнаруженной зависимости просто формулируются требования к информационной мощности контроллеров - в составе семейства контроллеров «Идеального ПТК» должно быть не менее трех типов устройств: малоканальный, среднеканальный, многоканальный - перекрывающие, соответственно, первый, второй и третий пики характеристики. При этом необходимо, чтобы набор модулей позволял получать необходимые сочетания между числом каналов различного типа (например, контроллер на 64 у.с. может иметь модули по 16 у.с., а контроллер на 16 каналов - не более чем по 4 у.с.).



Набор таких контроллеров позволяет разработчику АСУТП оптимально строить системы требуемого уровня распределенности, а отсутствие большой избыточности в аппаратуре существенно снижает стоимость ПТК.

Исследование рынка, проведенное после формулировки требований к информационной мощности контроллеров, подтвердило их правильность. Несколько примеров: Р-130/131 - 16 у.с., ПРОТАР - 16,4 у.с. (8 аналоговых + 23 дискретных/2,75), ТКМ51/52 - 70 у.с. (до 72 аналоговых [64 входа и 8 выходов] или 192 дискретных/2,75), Ломиконт110 - 300 у.с., МФК - 280 у.с. Модели контроллеров, пользующиеся наибольшим спросом, как правило, по числу обрабатываемых условных сигналов на 10-20% перекрывают один из 3-х пиков характеристики.

Требования к «идеальному ПТК»

ПТК должен обладать высокими потребительскими свойствами:

- обеспечивать создание интегрированных АСУТП энергетических объектов любого уровня сложности (вплоть до энергоблоков 800 МВт и крупнейших ТЭС в целом) и объектов других отраслей промышленности.
- минимизировать **совокупную стоимость внедрения**, сокращая сумму капиталовложений, сопутствующих внедрению ПТК при качестве, соответствующем требованиям.
- минимизировать **совокупную стоимость владения** (высокая надежность, простота обслуживания, простота модернизации).

Состав и типовая структура ПТК

Для достижения требуемого соотношения стоимость/качество ПТК должен включать:

- микропроцессорные контроллеры оптимальной информационной мощности;
- стандартные персональные компьютеры, сетевое оборудование, операционные системы;
- программный комплекс, предоставляющий эффективные средства эксплуатации, разработки и тестирования задач АСУТП.

Семейство контроллеров «идеального ПТК»

Семейство контроллеров «идеального ПТК» должно включать микропроцессорные устройства не менее чем 3-х типов, каждый из которых необходим для построения оптимальных конфигураций АСУТП. В данном разделе приводятся основные требования к этим контроллерам.

Локальный контроллер (ЛК)

Локальный контроллер - локальное встраиваемое недорогое устройство небольшой информационной мощности (до 16-24 условных сигналов), имеющее удобное для монтажа и обслуживания конструктивное исполнение и развитые сетевые средства. ЛК предназначены для использования в качестве локальной системы управления или удаленного УСО. Он должен быть приспособлен для длительной работы в температурном диапазоне +5 - +60 °С без принудительной вентиляции.

Из существующих технических решений данным требованиям наиболее соответствует комбинация из процессорного модуля на базе Am80188 или Java-процессора и модулей УСО с клеммниками под сигнальный (объектовый) кабель, подключающихся к нему по локальному цифровому каналу:

1. Недорогой PC- или Java-совместимый процессорный модуль позволяет реализовать виртуальную машину языка высокого уровня, не увеличивая стоимость малого контроллера до экономически нецелесообразного уровня (Java-процессорами называются устройства, обеспечивающие исполнение программ на современном языке высокого уровня Java).
2. Цифровой кабельный интерфейс межмодульной связи, небольшие габариты и канальность каждого модуля УСО обеспечивают необходимую гибкость конструкции и канального состава контроллера.
3. Набор цифровых интерфейсов (RS232/RS485/CAN), установленный на процессорном модуле, обеспечивает также резервированную связь с внешним миром и прямое подключение пульта управления. Для связи со старшими вычислительными устройствами ПТК желательно использовать современную промышленную сеть стандарта CANopen; для связи с модулями УСО - RS485 и поддержку протокола, реализованного в семействе ADAM 4000, что позволит использовать большое количество модулей, совместимых с этой популярной серией.

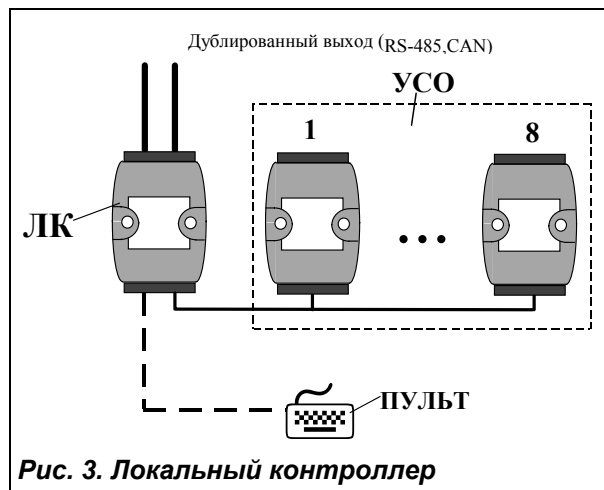
Стоимость ЛК не должна превышать - 250-300\$ за процессорный модуль и 100-150\$ за модуль УСО.

Контроллер группы ЛК (ГЛК)

ГЛК предназначен для группового управления оборудованием от функциональной группы энергоблока до небольшой установки, локальное управление элементами которого осуществляют ЛК. Один ГЛК должен объединять до 32 ЛК.

Главными свойствами контроллеров этого типа являются:

- компактное конструктивное исполнение, обеспечивающее достаточную защиту для монтажа как на внутреннюю, так и на внешнюю сторону шкафа КИП;
- мощный PC-совместимый вычислитель (не менее чем Am586/133);
- отсутствие собственных модулей УСО (ввод-вывод производится через ЛК);
- мощные сетевые ресурсы - дублированная промышленная сеть «вниз» (для связи с ЛК) и дублированный Ethernet «вверх» (для связи с компьютерами и другими ГЛК).
- стоимость контроллера с 4 сетевыми каналами - не более 2000\$.



Многофункциональный контроллер (МК)

Многофункциональный контроллер предназначен как для ввода/вывода сигналов непосредственно через УСО (до 270 условных сигнала), так и для использования в качестве контроллера группы ЛК. Для перекрытия 2-х пиков информационной характеристики требуются 2 типа контроллера: с информационными мощностями 6 (60-70 каналов) и 8 (240-280 каналов).

Вычислительные и сетевые ресурсы многофункционального контроллера аналогичны ресурсам контроллера группы ЛК, за исключением необходимости дублирования сети «вниз» (к ЛК), т.к. наиболее ответственные сигналы могут вводиться и выводиться непосредственно через УСО контроллера. ПО полностью совместимо с ПО контроллера ГЛК.

Стоимость базового комплекта (без модулей УСО) составляет: 2000-3000 \$ для многоканального контроллера и 1500-2500\$ - для среднеканального (в зависимости от числа сетевых плат).

Пульты управления контроллерами

Пульты управления контроллерами предназначены для контроля, настройки и программирования контроллеров всех типов, входящих в ПТК. Для наиболее комфортного выполнения данных операций требуются пульты 4-х типов, каждый из которых подключается через СОМ-интерфейс к любому контроллеру ПТК. Подключение производится без выключения контроллера и настройки связи (plug-and-play).

Важнейшим свойством всех пультов «идеального ПТК» является поддержка интерфейса с оператором на предметно-ориентированном языке.

1. Пульт карманного размера, обеспечивающий возможности: просмотра значений параметров, их изменения, выдачи команд управления из текстового меню, настройки коэффициентов. Снабжен функциональной клавиатурой и небольшим индикатором. Пульт предназначен для наладчиков и обходчиков КИП.
2. Пульт персонала АСУ обеспечивает те же возможности, что и предыдущий

плюс возможность конфигурирования ПО.

3. Пульт блока местного управления (БМУ) - предназначен для операторов-технологов как средство местного и резервного управления - используется при выполнении ремонтно-наладочных работ и в случае отказа верхних уровней АСУТП.

4. Notebook с комплектом инструментального ПО, позволяющего выполнять любые операции с ПО контроллеров, вплоть до полной его замены.

Программное обеспечение

Программное обеспечение комплекса включает в себя:

- операционные системы вычислительных узлов.
- драйверы и тестирующие программы (в том числе, выполняющиеся без остановки прикладных программ).
- системы реального времени для вычислительных узлов всех типов.
- инструментальное ПО для разработки прикладных программ и конфигурации для них.

Операционные системы (ОС)

Многоуровневость ПТК и различие в характеристиках вычислительных устройств приводят к необходимости использования нескольких ОС:

- в ЛК могут быть ОС: DOS, Windows CE, Java VM (следует выбрать одну из списка на стадии разработки устройства);
- в контроллерах групп ОС: Linux, Windows CE или DOS;
- на АРМ оператора ОС: Windows (основной вариант), Linux (для упрощения эксплуатации на объектах, где установлены контроллеры с Linux);
- на серверах АСУТП ОС: Windows NT Server, Novell Netware, Linux - по выбору покупателя.

Драйверы и тестирующие программы

Все типы вычислительных узлов системы снабжаются набором драйверов для используемых ОС и тестов реального времени.

Драйверы поддерживают:

- все типы модулей УСО;
- пульты, подключаемые по RS232;
- сетевые ресурсы контроллеров.

В состав комплекса входят программы тестирования, обеспечивающие возможность имитации и отладки работы управляющих программ и информационных функций системы.

Системы реального времени (СРВ)

Система реального времени исполняет прикладные программы, обеспечивая их взаимодействие между собой и с окружающим миром. Частными случаями СРВ являются исполняющая система для контроллера и SCADA для АРМ оператора.

Для возможности эффективного развития системы, т.е. снижения совокупной стоимости поэтапно внедряемой системы, должна обеспечиваться совместимость систем реального времени узлов всех типов «снизу вверх» на уровне прикладных программ.

Система реального времени должна обеспечивать реализацию всех функций АСУТП в соответствии с РД 153-34.1-35.127-2002 для энергетики - наиболее подробным из отраслевых РД.

СРВ обеспечивает высокоуровневые механизмы взаимодействия прикладных программ, что существенно упрощает конфигурирование и снижает совокупную стоимость внедрения.

Программный комплекс должен первоначально содержать следующие типы СРВ:

- SCADA для АРМ операторов, инженеров АСУ, руководителей (используется также для создания дополнительных событийных, архивных, расчетных и др. станций);
- СРВ для PC-совместимых контроллеров с ресурсами не ниже Am586/133p;
- СРВ для PC-совместимых контроллеров с ресурсами от Am188/25.

В дальнейшем число типов СРВ может возрасти путем переноса ядра СРВ на новые аппаратные платформы и операционные системы.

Инструментальное ПО

Сильная распределенность вычислительных ресурсов АСУТП, построенной на базе «идеального ПТК» предъявляет очень жесткие требования к инструментальному программному обеспечению, входящему в состав комплекса, т.к. при переходе от традиционной структуры АСУТП, построенной на многоканальных контроллерах с большим количеством встроенных или удаленных модулей УСО, к распределенной АСУТП на базе «идеального ПТК» количество вычислительных узлов возрастает на порядок.

Инструментальное ПО комплекса должно обеспечивать простоту и эффективность процесса создания АСУТП с числом контроллеров более 100, что может быть достигнуто при активном использовании современных технологий системного программирования.

Подсистемы с особыми требованиями

В интегрированной АСУТП ТЭС выделяются несколько подсистем с особыми требованиями по быстродействию и надежности. Распространение повышенных требований на все элементы ПТК приводит к неоправданному завышению стоимости комплекса, поэтому в состав ПТК должны быть включены подсистемы, содержащие специальные программно-технические средства для решения задач с повышенными требованиями. Для энергетических объектов такими задачами являются обработка сигналов по электрооборудованию и реализация функций защит и регистрации аварийных ситуаций (РАС).

Подсистема защит теплотехнического оборудования и РАС

Подсистема защит и РАС для основного теплотехнического оборудования (энергетических установок и энергоблоков) должна быть реализована в виде комплектно-поставляемого микропроцессорного устройства, запрограммированного на выполнение функций РАС и защит для конкретного типа оборудования. Программное обеспечение должно при этом обеспечивать широкие возможности настройки в пределах, допускаемых нормативными документами по микропроцессорной реализации данных функций. По компонентам технических средств подсистема должна быть унифицирована с многофункциональным контроллером.

Такая реализация РАС и защит обеспечивает:

- возможность использования устройства как в составе АСУТП энергоблока, так и независимо (например, для замены УКТЗ*¹);
- высокую надежность микропроцессорной реализации защит без увеличения стоимости АСУТП энергоблока - стоимость микропроцессорного устройства

¹ УКТЗ - существующие релейные комплексы защит.

защит должна быть не выше стоимости УКТЗ аналогичного назначения;

- удобство обслуживания устройств АСУТП, имеющих единый компонентный состав;
- при модернизации АСУТП энергоблока в несколько этапов внедрение подсистемы защит и РАС может выполняться на любом из них.

Подсистема регистрации и защит электрооборудования

Электрооборудование отличается очень высокой скоростью протекания технологических процессов. Минимальный временной интервал работы системы 1мс (вместо 10мс в тепловой части). Необходимым становится прием аналоговых сигналов с напряжением ~220В. Подсистема также должна иметь распределенную структуру и легко интегрироваться в единую АСУТП ТЭС.

Реализация «идеального ПТК»

В настоящий момент ЗАО «НВТ-Автоматика» ведет интенсивную разработку ПТК «САРГОН-3», соответствующего спецификации «идеального ПТК». Разработка выполняется на базе существующего ПТК «САРГОН» путем расширения модельного ряда контроллеров и совершенствования фирменного программного обеспечения.

Главными дополнениями ПТК «САРГОН» при переходе к «САРГОН-3» являются:

- локальный контроллер (ЛК) и пульт управления им;
- комплекс защит и РАС для реализации функций теплотехнических защит (РАС реализован и в ПТК «САРГОН»);
- новое поколение средств контроля и управления электрооборудованием;
- пульта.

Другие компоненты «идеального ПТК» уже реализованы в «САРГОН» следующим образом:

- контроллеры нескольких семейств (например, Octagon microPC) удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к ГЛК.
- контроллеры МФК и ТКМ52 производства ЗАО «Текон» г.Москва удовлетворяют практически всем предъявляемым требованиям к крейтовому и моноблочному многофункциональному контроллеру соответственно. По желанию заказчика в АСУТП могут использоваться PC-совместимые контроллеры других фирм, имеющие достаточные вычислительные и сетевые ресурсы.
- из 4-х указанных в требованиях типов пультов все, кроме простейшего, уже существуют.
- системы реального времени для АРМ операторов и PC-совместимых контроллеров с большими ресурсами включены в ПТК «САРГОН» и называются ТкА5w и ТкА5с соответственно.
- ПТК «САРГОН» содержит уникальный набор программных средств разработки и тестирования, полностью соответствующий спецификации «идеального ПТК»:
 - o Систему технологического программирования на языке высокого уровня, поддерживающую использование компонентной технологии и обеспечивающую независимость прикладной программы от размещения сигналов и исполняемых модулей по вычислительным узлам.
 - o Графический конфигуратор мнемосхем.
 - o Систему автоматического конфигурирования, обеспечивающую автоматическую генерацию согласованных конфигураций всех вычислительных узлов АСУТП.
 - o Систему комплексной отладки и моделирования, позволяющую

выполнить полномасштабную проверку работы АСУТП на полигоне (кроме технологической настройки регуляторов).

- Систему информационного тестирования, контролирующую правильность обработки и передачи информации в АСУТП.

Локальный контроллер (ЛК) является базовым элементом ПТК «САРГОН-3».

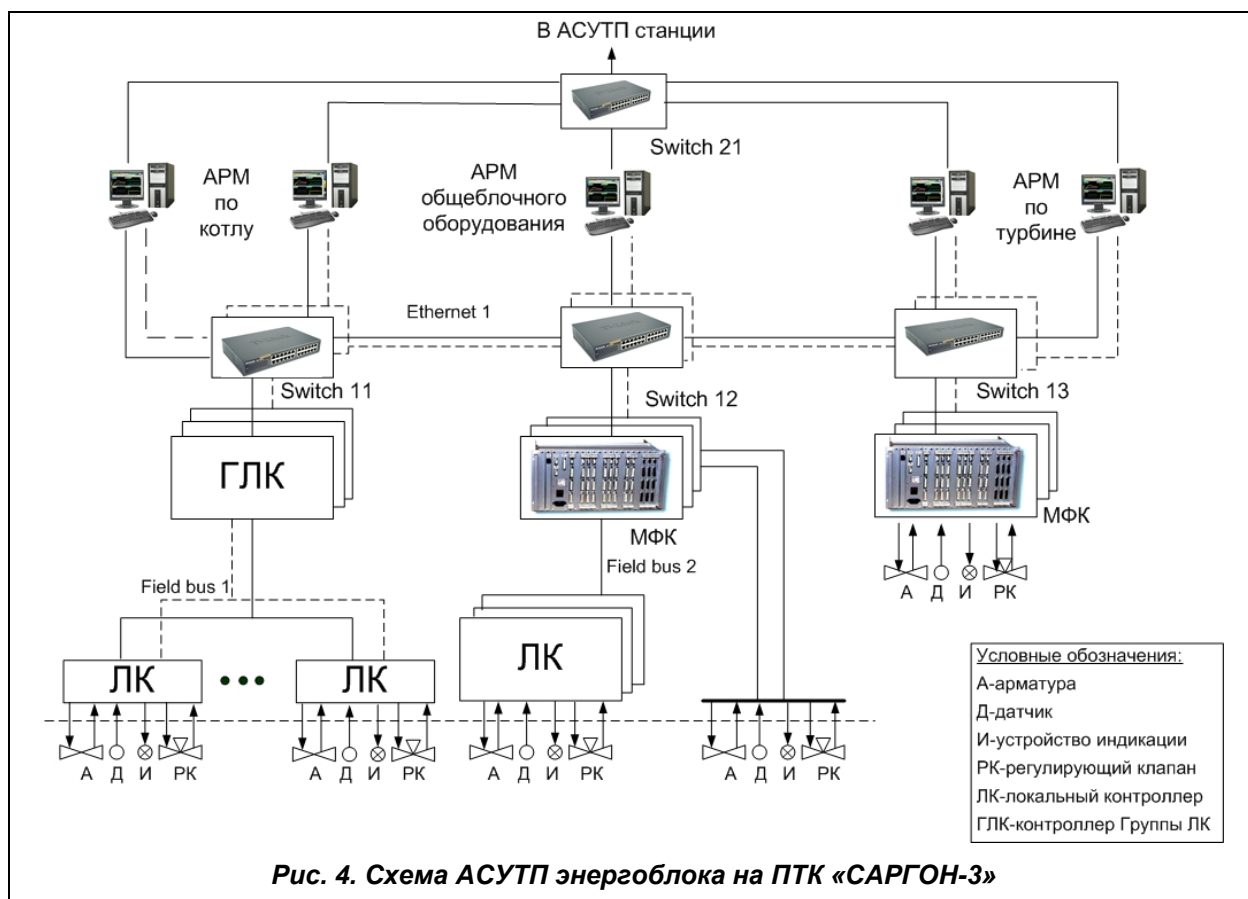
Из доступных на Российском рынке предложений в наибольшей степени спецификации ЛК соответствует семейство модулей i-7000, производимое фирмой ICPCON. Из недостатков данной серии следует отметить небольшой объем ОЗУ (192К для прикладной задачи), слабый сетевой интерфейс «вверх» (не более 115200 бит по RS485) и отсутствие в номенклатуре модулей УСО, рассчитанных на работу с ~220В.

Указанные недостатки будут преодолены путем выполнения следующих разработок:

- создание менее требовательной к памяти версии СРВ ТкА5с - mТкА (потребуется только в случае, если в первом квартале 2000 на рынке не появятся процессорные модули «таблеточного исполнения» с объемом ОЗУ не менее 512К);
- разработка отечественных модулей УСО на сигналы 220В, совместимых с ADAM 4000 по протоколу обмена.

В остальном технические и стоимостные показатели данного семейства модулей удовлетворяют требованиям к «идеальному ПТК».

В конце 1999 г появилась альтернативная возможность реализации ЛК - Java-процессоры нового поколения, существенно превосходящие PC-совместимые изделия по соотношению цена/качество. Целесообразность их использования в качестве процессорного модуля ЛК активно изучается нашими специалистами, т.к. это потребует переноса системы реального времени ТкА5с на язык Java.



Комплекс РАС и защит теплотехнического оборудования, добавляемый в состав ПТК «САРГОН-3», обеспечивает реализацию функций защит и регистрации аварийных ситуаций на основном теплотехническом оборудовании: энергоблоках всех мощностей до 1200 МВт включительно, энергетических и водогрейных котлах, паровых и газовых турбинных установках.

Комплекс включает в себя шкаф микропроцессорной автоматики, построенный на базе резервированного контроллера МФК (ГК «ТЕКОН»), и специализированное программное обеспечение производства ЗАО «НВТ-Автоматика», выполняющее все функции в соответствии с отраслевыми РД.

Комплекс для решения быстрых задач в электрической части ТЭС, поставляемый НТЦ «ГОСАН» интегрируется в состав ПТК. Он включает набор базовых информационных модулей (БИМ) и специализированное ПО «ГОСАН». Комплекс обеспечивает решение широкого круга информационных и управляющих задач, включая РАС и защиту электрического оборудования.

Резервирование в САРГОН-3 предусмотрено на всех уровнях иерархии ПТК: модулей УСО, контроллеров, АРМ, вычислительных сетей, серверов баз данных и т.п. При этом поддерживаются развитые схемы резервирования, обеспечивающие требуемый уровень надежности (в частности, «2 из 3-х»). Система реального времени ТкА обеспечивает возможность работы с резервированным устройством и как с единым целым - в процессе эксплуатации, - и с каждым из его компонентов независимо - при выполнении наладочных и ремонтных работ.

Заключение

Разработанные к настоящему времени технические средства и программные технологии позволяют перейти к новым принципам создания ПТК для автоматизации ответственных технологических процессов.

Достижение многими программно-техническими комплексами требуемых характеристик по надежности и быстродействию выдвигают на первый план показатели стоимости и удобства внедрения и эксплуатации.

Большинство существующих пакетов для разработки АСУТП не приспособлено для создания систем, состоящих из сотен контроллеров. Для построения ответственных систем такой степени распределенности необходимо использовать программные средства нового поколения, в частности, программный комплекс «САРГОН».

Результаты проведенного исследования зависимости совокупной стоимости внедрения от характеристик технических и программных компонентов ПТК позволили ЗАО «НВТ-Автоматика» разработать концепцию и техническое задание на новый комплекс, значительно превосходящий существующие по соотношению качество/стоимость.