

## ПТК «Торнадо-N» для объектов теплоэнергетики Сердюков О.В., «Модульные Системы Торнадо»

*Distributed Control Systems (DCS)*, или программно-технические комплексы (ПТК), для теплоэнергетики на сегодняшний день представлены рядом отечественных и зарубежных компаний. Практически для всех существующих сегодня ПТК общим является наличие в архитектуре контроллера как основного функционального элемента системы управления. Контроллер представляет собой конструктивную единицу, в которой выполняются функции ввода-вывода, обработки, обмена по сетевым и периферийным интерфейсам. Эти функции выполняются различными устройствами или модулями, включёнными в контроллер и взаимодействующими внутри него каким-то определённым способом. В крупных системах функционирует несколько (много) контроллеров. Получение одним контроллером информации от датчика, подключенного к другому контроллеру, осуществляется через вышестоящую сеть, объединяющую контроллеры. Понятно, что такое взаимодействие значительно медленнее, чем получение данных от собственного ввода-вывода или УСО. Кроме того, передача между контроллерами сетевых переменных, используемых в алгоритмах управления технологическим объектом управления (ТОУ), должна осуществляться строго детерминированно. Часто в ПТК для межконтроллерного взаимодействия организуют сеть, отдельную от других сетей. Контроллеры приходится тщательно компоновать, с тем чтобы основные переменные, относящиеся к одному функциональному узлу ТОУ, попадали в один контроллер, и таким образом минимизировать межконтроллерное взаимодействие.

Современное развитие сети *Ethernet* создаёт базис для перехода на совершенно новый уровень – от традиционной контроллерной архитектуры к **распределённой (многоядерной) среде управления (PCU)**. Система в этом случае представляет собой одноранговую сеть, в которой присутствуют все элементы системы: как устройства сопряжения с объектом (УСО), так и элементы обработки информации (процессорные устройства – ПУ). Классические контроллеры в такой архитектуре перестают существовать. Они становятся виртуальными, то есть представляют собой программы, исполняемые в ПУ, ведущие опрос и получение данных от УСО. Таким образом, на базе одного ПУ может быть организовано несколько виртуальных контроллеров (управляющих программ), обрабатывающих данные разных УСО. И наоборот, одно УСО может опрашиваться одновременно несколькими ПУ.

Распределённая среда управления в данном случае не накладывает никаких ограничений на количество используемых устройств: они могут резервироваться, дублироваться, троироваться, сколько требуется для обеспечения заданного уровня отказоустойчивости. PCU кардинальным образом отличается по архитектуре от существующих ПТК и даёт разработчикам новую степень свободы, позволяющую создавать разнообразные системы управления, наделяя их свойствами, важными для ПТК ответственных технологических объектов.

ПТК «Торнадо-N» является специализированным комплексом для АСУТП объектов теплоэнергетики: удовлетворяет всем требованиям РД 153-34.1-35.127-200 по быстродействию, что подтверждено испытаниями; устойчив к любому единичному отказу; предусматривает «горячую» замену оборудования, перезапуск и модификацию прикладного программного обеспечения; способен обрабатывать тысячи каналов в темпе протекания технологического процесса.

В ПТК «Торнадо-N» устройства УСО обеспечивают ввод/вывод и первичную обработку сигналов – фильтрацию, линеаризацию, преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму, преобразование управляющих воздействий в физические величины, проверку данных на достоверность и передачу их по дублированному *Ethernet* с помощью протокола *ModBus TCP/UDP*. В обработанном виде данные поступают в сеть, где могут быть использованы любыми процессорными устройствами. Например, данными, поступающими от УСО, могут пользоваться не только процессорные блоки, но и АРМ верхнего уровня.

В ПТК «Торнадо-N» в качестве УСО используются интеллектуальные устройства ввода-вывода *MIRage-N*. Это автономные устройства, простые в использовании, предназначенные для решения максимально широкого круга задач. Они надёжны, отказоустойчивы, легко обслуживаются, заменяются в режиме «горячей» замены без перемонтажа внешних полевых кабельных соединений. Конструктивное исполнение модулей ввода-вывода *MIRage-N* выполнено в стандартном корпусе шириной 100 мм для монтажа на 35-миллиметровую DIN-рейку. Возможно подключение полевых кабелей сечением от 0,8 до 2,5 мм<sup>2</sup> с помощью подпружиненных клемм *WAGO*. Активные элементы модулей расположены на съёмных вставках, что позволяет производить их замену без демонтажа полевых кабелей. Блок первичной обработки и сетевого интерфейса также является съёмным.

Верхний уровень ПТК «Торнадо» универсален для всех модификаций: он имеет клиент-серверную архитектуру и не привязан к типу контроллеров. Архитектура допускает любое распределение по объекту шкафов УСО и процессорных блоков. Процессорные блоки могут быть сконцентрированы в отдельных шкафах либо устанавливаться в некоторых шкафах УСО, в зависимости от принятых проектных решений. Например, контроллер технологических защит должен обязательно быть автономной подсистемой, то есть процессорные блоки устанавливаются вместе с модулями ввода-вывода.

В качестве устройств обработки (процессорных устройств ПУ) в больших ПТК используются высокопроизводительные компьютеры, имеющие несколько портов *Ethernet*, позволяющие строить эффективные, отказоустойчивые и высокопроизводительные системы. В ПТК «Торнадо-N» применяются промышленные компьютеры *ARK-3382 BoxPC* производства компании *Advantech*. Устройства обработки в структуре ПТК «Торнадо-N» образуют дублированную структуру: один компьютер назначается основным, второй – дублирующим. Каждый компьютер имеет четыре независимых интерфейса *Ethernet* (рис. 1): один используется только для взаимодействия

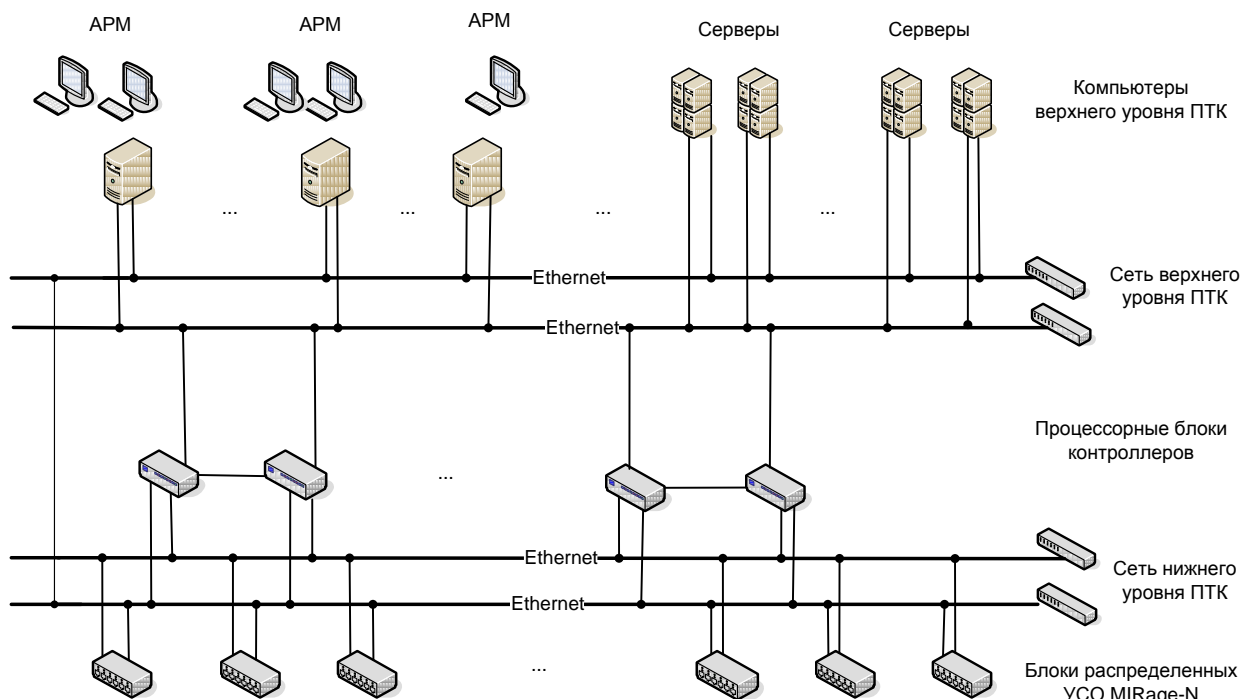


Рис. 1: структура сети в ПТК «Торнадо-N»

с УСО, второй – для связи с верхним уровнем ПТК, третий является дублирующим для опроса блоков УСО и связи с верхним уровнем ПТК, четвертый – для обмена данными между компьютерами процессорной пары. Компьютеры синхронизированы, переключение с рабочего на дублирующий происходит безударно. Время переключения конфигурируется.

Структура, основанная на 4-х портах *Ethernet*, является компромиссной и минимальной для реализации полнофункционального сетевого взаимодействия. Для

полноценной структуры сетевого взаимодействия требуется шесть независимых портов *Ethernet*.

В общем случае организуется двухуровневая коммутируемая сеть *Fast Ethernet*, звездообразная топология. В настоящее время широко используются интеллектуальные коммутаторы на базе виртуальных коммутирующих матриц. Коммутационная среда в данном случае – это уже не коммутатор в традиционном понимании, а мощный специализированный компьютер, который реализует функции коммутатора в режиме *store-and-forward*, обладает большим объёмом памяти, способным буферизировать все пакеты, даже в ситуации пиковой нагрузки. Пакеты ставятся в очередь на отправку в соответствующий порт. Такой режим предотвращает возникновение коллизий. Это важное обстоятельство даёт основание считать коммуникационную среду ПТК детерминированной, так как для любой конфигурации сети можно точно определить максимальное расчётное время доставки сообщения. Возможности построения коммуникационных сред на базе *Ethernet* практически не ограничены, что позволяет строить сеть с требуемым максимальным временем доставки сообщения.

Информационные пакеты передаются как по основной, так и по дублирующей сети. На уровне протокола обмена в ПТК устанавливается внутренний тайм-аут на подтверждение получения информации – время, в течение которого должны прийти подтверждение о достоверности получения информации либо данные в ответ на запрос. Если достоверность пакета подтверждается по любому из двух каналов, то пакет поступает в обработку. Если за условленное время не происходит квитирование пакета, то он считается недостоверным, о чём идёт соответствующее сообщение на верхний уровень. Таким образом, нарушения в передаче данных по любому из каналов диагностируются непосредственно в процессе работы ПТК. Причин нарушения коммуникаций может быть несколько: обрыв кабеля, неполадки в сети, повреждение модуля и т. п.

Почему в качестве среды передачи данных используется *Ethernet*? На сегодня это самая доступная технология, которая обеспечивает высокую скорость передачи данных, детерминизм и высокую надёжность коммуникационной среды. предусмотрено использование оптоволоконных, медных кабелей, радиосвязи. Имеется возможность обеспечения питания по кабелю *Ethernet* – с помощью опции *Power Over Ethernet*, которая поддерживается модулями серии *MIRage-N*.

Одно из наиболее существенных преимуществ *Ethernet* состоит в том, что это лидирующая коммуникационная технология, постоянное совершенствование которой автоматически приводит к совершенствованию оборудования, работающего с его использованием. В недалёком будущем, например, ожидается появление гигабитного *Ethernet*, доступного на чипе, который можно будет установить в модули УСО.

Промышленный компьютер *ARK-3382*, который используется в качестве типового процессорного блока в ПТК «Торнадо», полностью соответствует требованиям комплекса как по техническим характеристикам, так и по исполнению. Блок не имеет вращающихся элементов, производится в алюминиевом корпусе, имеет 4 порта *Ethernet*, надёжен в эксплуатации, экономичен с точки зрения энергопотребления. Используются процессоры *Intel ULV Celeron M* или *LV Pentium M* с частотой до 1,4 ГГц.

Прикладное программное обеспечение функционирует на базе исполнительной среды *ISaGRAF*, что позволяет формировать в одном процессорном блоке несколько ядер *ISaGRAF* с прикладными программами. В процессорных блоках ПТК «Торнадо», как правило, размещается 5-6 ядер. Ядра *ISaGRAF* могут быть запущены с разными циклами, начиная от 5 мс, что позволяет решить любые задачи по быстрдействию. Например, можно организовать участок кода, ведущий обработку каких-либо критически важных данных, например, защиты, с быстрдействием в пределах 10 мс. Это будет небольшая программа, запущенная на конкретном исполнительном ядре *ISaGRAF*. Для синхронизации программ, работающих с 10-миллисекундным циклом, с большой интенсивностью обмена, используется *Fast Ethernet* 100 Мбит без коммутатора. Типовой цикл технологических программ управления устанавливается в рамках 50 мс.

Распределённая среда управления предоставляет технологю-проектировщику полную свободу создания информационной структуры системы. Она может быть

организована как по функционально-групповому принципу, так и по подсистемам. Например, можно создать ряд приложений по подсистемам – информационной, дистанционного управления и блокировок, автоматического регулирования, ФГУ. Можно пойти другим путём, проектировать систему по функциональным узлам, и группировать все элементы, относящиеся к определённому функциональному узлу: информационные, регулирования и пр. Система не имеет технологических ограничений, определяющих выбор того или иного решения, его определяют только требования конкретного проекта.

ПТК «Торнадо-N» проектируется исходя из расчёта, что процессорный блок будет опрашивать примерно 50 модулей *MIRage-N*. При такой компоновке объёма загрузка процессора составляет примерно 20-30% при цикле 100 мс. Фактически штатный цикл *ISaGRAF* составляет 50 мс при загрузке процессора менее 50%. Таким образом, создаётся резерв, гарантирующий детерминизм исполнения прикладных программ управления. Никогда нельзя со стопроцентной уверенностью определить, по какому пути пойдёт алгоритм. Есть достаточно редкие варианты, по которым время цикла может увеличиться. В таких случаях используется резерв. Кроме того, резерв может быть использован для сервисных программ и последующих расширений системы. Резервирование процессорного времени позволяет также при отладке системы загружать на контроллер дополнительные наладочные утилиты, которые не влияют на выполнение основных циклов управляющей программы. Если проект требует большего быстродействия, то komponуется процессорная пара, опрашивающая меньшее количество модулей, например, 25. В этом случае длительность цикла опроса и обработки уменьшается, соответственно, повышается быстродействие. Таким образом, время выполнения алгоритмов конфигурируется программно.

Таблица 1

Результаты испытаний ПТК «Торнадо-N»

Номер пункта программы	Значение параметра, содержание требований по РД	Фактическое значение параметра
1	Время опроса входных сигналов: - аналоговых: 0,1 ... 2 с; - дискретных: 0,5 с. - инициативных дискретных: 0,01 с.	500 мс 55 мс 25 мс/5мс
2	Дискретность и точность привязки меток времени к событиям при регистрации и сохранении в архиве системы	10 мс
3	Время полной смены кадра: 1/(2-2,5) с	75 мс
4	Цикл обновления видеокadra: 1-2,5 с	400 мс
5	Задержка представления аварийных сигналов: 0,5 – 1,0 с	400 мс
6	Общая задержка в передаче информации по каналам технологических защит: 0,1 – 0,2 с	94 мс

7	Общая задержка сигналов в цепях регулирования и блокировок: 0,02 -3,0 с	100мс/90мс
8	Время квантования импульса регулятора Минимальная длительность: 125 мс Шаг изменения: 100 мс	50 мс 95 мс 10 мс
9	Цикл регулирования:	252 мс
10	Длительность импульса регулирования:	100 мс
11	Задержка в передаче командных сигналов ДУ: 1 с	100 мс
12	Среднее время передачи команды 1,5 – 2 с	275 мс
13	Время доаварийной и послеаварийной регистрации параметров:	96 ч.
14	Погрешность измерения температуры, давления, расхода и других технологических параметров – РД 34.11.321-96	0,09%
14.1	Температуры:	0,09%
14.2	Давления:	0,09%
14.3	Расхода:	0,09%
15	Отображение значений технологических параметров в цифровом виде (на мониторе АРМ оператора-технолога) – 4 значащих цифры	Соответствует

Испытания ПТК «Горнадо-Н» по длительности опроса модулей УСО проводились на реальном комплексе управления энергоблоком – ПТК для ПГУ-410 Краснодарской ТЭЦ. Методика испытаний разработана совместно со специалистами ОРГРЭС, программа испытаний утверждена при сертификации в системе Энсертико. Условия испытаний: ПТК полностью развёрнут, загружено всё прикладное программное обеспечение. При помощи специальной тестовой программы проводились испытания для цикла 50 мс и 10 мс. Результаты испытаний приведены в таблице.

Объединение единой цифровой сетью всех элементов системы – это подлинно инновационный подход к проектированию АСУТП, дающий разработчику новую степень свободы и недоступный ранее уровень возможностей. В результате возникает система, в которой реализованы все достоинства шины *Fast Ethernet*: универсальность, высокая производительность, малое и предсказуемое время прохождения сигнала, адресность передачи информации, простота настройки. По нашему мнению, эта технология станет основой большинства систем управления в будущем для построения ПТК различных промышленных объектов.