

Автоматизированная система управления технологическим процессом производства бетонных смесей

Анатолий Пахоменко, Николай Починчук, Сергей Шипицин

В статье рассказывается об АСУ ТП производства технологических бетонных смесей и товарного бетона на Тушинском заводе железобетонных конструкций ОАО ДСК-1 города Москвы. Рассмотрены задачи конкретного проекта, включая реконструкцию технологического оборудования. Описаны функции и характеристики системы управления, а также особенности архитектуры её аппаратно-программного комплекса.

Предисловие

Группа компаний «Элтикон» работает на рынке автоматизации с 1991 года и имеет на своём счету около 200 введённых в эксплуатацию автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Заказчиками «Элтикона» являются предприятия строительной индустрии и перерабатывающей промышленности в 78 городах России, Белоруссии, Казахстана. В связи с многообразием решаемых задач автоматизации возник вопрос о такой архитектуре аппаратно-программных комплексов, которая была бы одинаково оправданна для АСУ ТП различной программно-алгоритмической сложности и различной информационной ёмкости — от нескольких десятков до нескольких тысяч входных и выходных сигналов. Для успешного решения этого вопроса, как оказалось, требуется:

а) минимальное количество уровней непосредственного цифрового управления (НЦУ), то есть отсутствие промежуточных узловых контроллеров в контуре НЦУ и минимальное количество вычислительных устройств (контроллеров) НЦУ вплоть до одного в системе без резервирования или до двух в системе с резервированием;

б) возможность применения для НЦУ вычислительных устройств с различными ресурсами и от разных фирм-производителей без изменения среды разработки программного обеспечения (ПО); программируемые логические контроллеры (ПЛК) для этого подходят плохо, альтернатива — компьютеры и процессорные платы, совместимые с IBM PC по операционным системам;

в) распределённые устройства связи с объектом (УСО), поддерживающие единый протокол обмена данными с вычислительными устройствами НЦУ в реальном масштабе времени;

г) произвольная и гибкая компоновка УСО без перенастройки системы и ПО, простота объединения УСО в сеть с вычислительными устройствами НЦУ;

д) одинаковая среда разработки ПО супервизорного (диспетчерского) управления для задач и вычислительных систем различной сложности – от простой задачи для небольшой технологической линии с одним компьютером диспетчерского управления до пакета задач, например, для целого завода с вычислительным комплексом многоуровневого супервизорного управления технологическим процессом, планирования и подготовки производства, автоматизированной разработки и оптимизации технологических карт, ведения архива (базы данных) технологического процесса и т.д.

Сформулированные требования вкратце отражают суть сложившегося де-факто подхода группы компаний «Элтикон» к построению аппаратно-программных комплексов АСУ ТП. Более или менее полная реализация этого подхода сдерживалась до некоторых пор отсутствием необходимых УСО и стала возможной только в 2001 году с началом производства модулей серии СА «Композит». Сейчас аппаратно-программные комплексы всех АСУ ТП группы компаний «Элтикон» имеют весьма простую архитектуру, особенно в части НЦУ: для каждого неделимого технологического участка (цеха, технологической линии и т.д.) имеется конструктивно обособленное, резервируемое или нерезервируемое вычислительное устройство управления технологическим процессом и распределённые УСО, поддерживающие прямой обмен данными с вычислительным устройством НЦУ в реальном масштабе времени.

Вычислительные устройства НЦУ традиционно комплектуются процессорными платами фирм Octagon Systems и Fastwel, а УСО — модулями серии СА «Композит» производства группы компаний «Элтикон».

Что же касается супервизорного (диспетчерского) управления, то оно может быть одно-, двух- или трёхуровневым в зависимости от иерархии привносимых в АСУ ТП организаци-

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

онно-управляющих функций. В качестве вычислительных устройств на всех уровнях супервизорного управления чаще всего применяются компьютеры производства фирмы Advantech.

Переход на описанную архитектуру аппаратно-программных комплексов качественно изменил технологию создания систем управления: аппаратные средства проектируются (по блочно-модульному принципу), изготавливаются, тестируются и монтируются на объектах в темпе «отлаженного конвейера», и, что самое главное, эта технологическая цепочка работает независимо и пересекается с собственно системным проектированием и разработкой ПО только на этапах согласования схемы автоматизации и ввода АСУ ТП в эксплуатацию. Иными словами, для системных проектировщиков и программистов аппаратные средства существуют как некий «абстрактный фон», описываемый не более чем списком входных и выходных сигналов, без учёта того, как скомпонованы аппаратные средства и в каком узле сети находится модуль ввода или вывода того или иного сигнала; список объявляется в драйвере ввода-вывода сигналов вычислительного устройства НЦУ, чем, собственно, и ограничивается объединение аппаратной и программной частей проекта АСУ ТП.

Описанная архитектура апробирована в десятках систем управления. Она же реализована и в системе, о которой идёт речь далее.

Задачи конкретного проекта

На Тушинском заводе железобетонных конструкций ОАО ДСК-1 г. Москвы более двух лет работает АСУ ТП производства технологических бетонных смесей и товарного бетона.

Автоматизирован бетоносмесительный цех (БСЦ) из четырёх технологических линий. В состав оборудования БСЦ входят:

- шестнадцать расходных бункеров инертных компонентов;
- десять расходных бункеров цемента и сухих добавок;
- семь расходных ёмкостей жидких компонентов;
- двадцать три весовых дозатора (рис. 1);
- семь бетоносмесителей;
- транспортирующее оборудование отгрузки бетонных смесей в цех формовки конструкций и товарного бетона на автотранспорт;
- система воздухоподготовки и аэрации цемента в расходных бункерах.



Рис. 1. Дозаторное отделение бетоносмесительного цеха

В процессе реализации проекта выполнены также реконструкция и переоснащение БСЦ:

- изготовлены и смонтированы новые дозаторы жидких и сухих добавок;
- смонтирована система аэрации цемента;
- дозаторы цемента оборудованы современными шнековыми питателями;
- дозаторы жидких фракций оборудованы надёжными клапанами;
- расходные бункеры сыпучих компонентов и грузоприёмные устройства дозаторов оборудованы пневмомолотками;
- все дозаторы переведены на тензометрические системы взвешивания;
- дозаторы песочных фракций оборудованы влагомерами;
- расходные бункеры и баки оборудованы датчиками критических уровней;
- расходные баки воды оборудованы датчиками температуры (это позволяет осуществлять контролируемый нагрев воды).

В результате внедрения АСУ ТП решены следующие наиболее важные для заказчика задачи:

- одновременно с автоматизацией выполнена существенная реконструкция технологического оборудования и усовершенствована технологическая схема, что позволило повысить надёжность и точность функционирования оборудования, расширить номенклатуру выпускаемых смесей;
- повышено качество управления технологическим процессом за счёт оснащения оборудования цеха современными датчиками и контрольно-измерительными приборами;
- введена в эксплуатацию система управления, подтверждающая заявленные характеристики надёжности (взамен предшествующей системы на базе офисного компьютера десятилетней давности и периферийных устройств кустарного производства);
- достигнута предельная производительность цеха за счёт высокой степени автоматизации и конвейеризации технологического процесса;
- достигнута необходимая точность дозирования компонентов смесей для 100% замесов, что особенно важно при формовке конструкций больших объёмов, так как из-за брака в одном замесе бракуется конструкция целиком;
- исключены вмешательства в технологический процесс в режиме прямого ручного управления исполнительными механизмами (ручные пульты отсутствуют в системе принципиально); любые предусмотренные вмешательства, включая коррекции компонентного состава смесей «на ходу», осуществляются по директивам оператора в автоматическом режиме и регистрируются в архиве;
- улучшены условия труда практически всех работников цеха (это стало следствием «цепной реакции»: автоматизация — одновременная реконструкция — полученный в результате автоматизации и реконструкции новый качественный уровень производства — усовершенствование методов организации и планирования производства – «наведение красот потому, что иначе уже нельзя» с выполнением, как минимум, косметического ремонта операторского и производственных помещений и т.д.).

Основные характеристики описываемой системы управления, получившей название «Бетон-ІРС/096», приведены в табл. 1. Структурная схема комплекса вычислительных средств АСУ ТП показана на рис. 2.

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

Функции и характеристики системы управления

Верхние уровни управления представлены в системе сервером и двумя равноценными взаимозаменяемыми операторскими станциями. Сервер системы является одновременно автоматизированным рабочим местом (АРМ) начальника цеха или технолога, а также резервной операторской станцией.

На сервере установлена база данных, включающая в себя банк рецептов, контейнеры заказов и архив.

Банк рецептов рассчитан на 500 образцов. Каждый образец содержит наименования компонентов, значения требуемых доз компонентов в расчёте на 1 м^3, значения влажности сыпучих компонентов, при которых рассчитывался рецепт, описание регламента загрузки-смешивания компонентов. В ряде случаев образец содержит и другие данные, относящиеся по смыслу к атрибутам рецепта. Редактирование образцов выполняется с помощью заранее составленных списков наименований компонентов и наименований марок смесей. Подготовленные (корректные) образцы рецептов доступны для применения на операторских станциях.

Таблица 1

Основные характеристики системы управления «Бетон-IPC/096»

Количество автоматизированных рабочих мест (начальника цеха, технолога)	1
Количество операторских станций супервизорного управления	2
Количество вычислительных устройств непосредственного цифрового управления (по количеству линий)	4
Количество весоизмерительных каналов	23
Количество прочих измерительных каналов	36
Количество каналов ввода дискретных сигналов	312
Количество каналов вывода дискретных сигналов управления	288
Погрешность взвешивания материалов, не более	0,05% от наибольшего предела дозирования
Погрешность измерения влажности материалов, не более	0,5% абс.
Погрешность измерения температуры, не более	1°С
Погрешность измерения силы переменного тока асинхронных двигателей, не более	1% от предельного значения
Погрешность дозирования компонентов смесей во всех случаях, не более	1%
Количество образцов в банке рецептов	До 500
Количество наименований компонентов в одном рецепте	До 15
Задаваемый порядок загрузки компонентов в смеситель	Произвольный
Количество одновременно обслуживаемых заказов	До 8
Управление потоком заказов	Директивное*
Вмешательства в техпроцесс по инициативе оператора	Директивные*
Вмешательства в техпроцесс в нештатных и аварийных ситуациях	Директивные*
Глубина архива базы данных техпроцесса	20 000 заказов
Режим работы	Непрерывный
Температура окружающего воздуха при эксплуатации (для оборудования в производственных помещениях)	–25...+60°С
Расчётный срок службы, не менее	20 лет

* С последующим автоматическим исполнением директивы

Контейнеры заказов – из расчёта два (или более) на одну линию – предназначены для сохранения данных заказов на время их выполнения. По мере выполнения заказов контейнеры автоматически освобождаются и объявляются доступными для редактирования. В любой освободившийся контейнер оператор может поместить данные нового заказа, а именно: скопировать рецепт требуемого образца, определить план выпуска, маршрут отгрузки смеси и т.д. По готовности данных достаточно нажать кнопку «Выполнять» в окне контейнера, после чего данные заказа передаются по сети вычислительному устройству НЦУ для выполнения заказа в автоматическом режиме. Контейнеры заказов доступны оператору в необходимом для него объёме в виде окон (рис. 3), которые для удобства работы открываются непосредственно в кадрах визуализации технологического процесса на операторских станциях. В ходе выполнения заказа допускается частичное редактирование данных контейнера, например, списков используемых источников материалов для дозирования тех или иных компонентов.

Архив базы данных предназначен для долговременного хранения отчётных данных о выполнении зака-

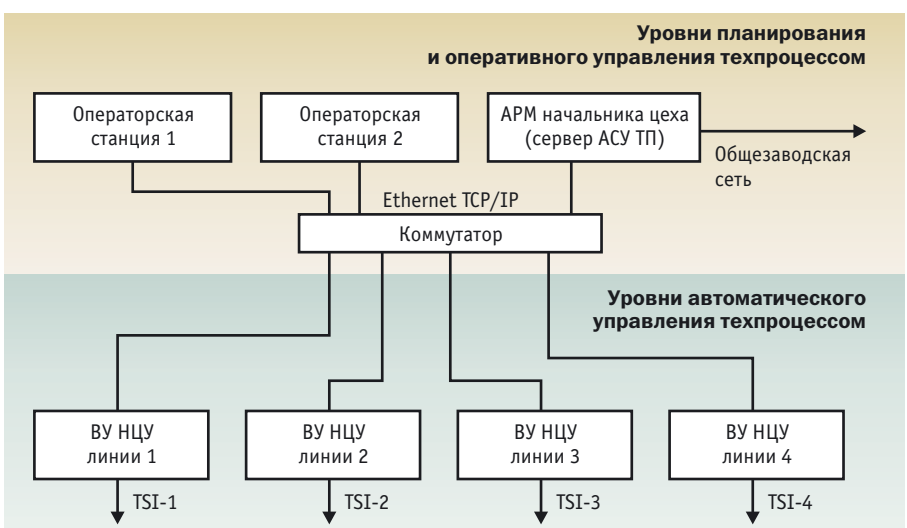


Рис. 2. Структурная схема комплекса вычислительных средств АСУ ТП (ВУ НЦУ — вычислительные устройства непосредственного цифрового управления)



Рис. 3. Окно контейнера заказа

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

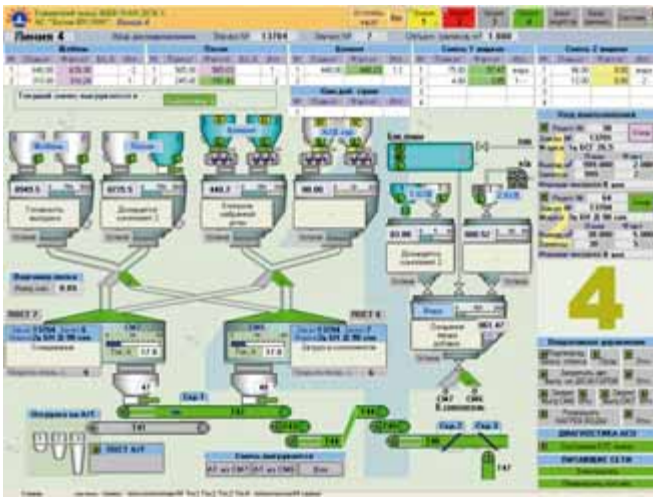


Рис. 4. Кадр визуализации технологического процесса

зов, включая следующие: исходные данные из контейнеров заказов; дата, время начала и окончания заказов; фактические объёмы произведённых смесей; истории дозирования компонентов (требуемые и фактические значения доз компонентов во всех замесах, значения влажности и температуры компонентов, время отгрузки каждого замеса); истории вмешательств в технологический процесс. По желанию заказчика в архиве могут вестись истории загрузки расходных бункеров, журналы регистрации действий оператора, регистрации нештатных и аварийных ситуаций, учёта моторесурсов оборудования, зонального расхода электрической и тепловой энергии и т.д. — всего, что поддаётся инструментальному или организационно-инструментальному контролю.

Данные о выполнении заказов доступны для просмотра и печати на АРМ начальника цеха/технолога и в службах предприятия (через корпоративную сеть) в следующих вариантах группирования: сводный хронологический отчёт о выполнении заказов за указанный период (смену, сутки, несколько суток, месяц и т.д.) с данными о расходе материалов; сводный отчёт о выполнении заказов за указанный период с группированием данных по маркам смесей и с данными о расходе материалов; подробные отчёты о выполнении отдельных заказов (с историями дозирования и вмешательств) и т.д.

Непременный атрибут верхних уровней управления — визуализированный человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) оперативного управления технологическим процессом – имеет развитую систему отображения состояний управляемых механизмов, условных и текстовых сообщений о текущих фазах механизмов, агрегатов и линий, оконную систему объявления директив, инструкций, уставок, выполнения калибровок измерительных каналов и т.д. В качестве примера на рис. 4 приведён кадр визуализации технологического процесса на 4-й линии цеха. Как видно из рисунка, все агрегаты, отличающиеся многофазностью состояний, снабжены индикаторами текстовых сообщений. Конкретные формулировки сообщений (например, «Останов выгрузки. Не открылся выпускной затвор. Продолжить?») позволяют оператору легко ориентироваться в той или иной ситуации. Но чтобы такой интерфейс

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru



Рис. 5. Рабочее место оператора системы

был полноценным, требуется большое количество вариантов сообщений. Поэтому, в частности, у каждого дозатора их более 70.

Для наиболее оперативных вмешательств в кадре предусмотрены кнопки с действием «в одно нажатие». Для других вмешательств и ведения диалога с системой управления в кадре имеется около 50 вызываемых окон. Всего в четырёх кадрах визуализации — более 150 диалоговых окон. Однако, несмотря на высокую функциональную насыщенность ЧМИ, всем цехом легко управляет один оператор (рис. 5).

Кадры визуализации технологического процесса, так же как и данные архива, доступны удалённым клиентам (в первую очередь, директору завода) через корпоративную сеть предприятия в реальном масштабе времени.

Нижние уровни управления предс-тавлены в системе четырьмя вычислительными устройствами НЦУ (по количеству линий) и распределёнными УСО. Каждое вычислительное устройство укомплектовано изделиями производства фирмы Octagon Systems: каркасами 5203-RM, процессорными платами (микроконтроллерами) 6050, сетевыми платами 5500. Процессорные платы могут быть и других типов: 60x0, 6225, 5025A, 5070, 5066 или CPU686E фирмы Fastwel. УСО полностью укомплектованы модулями и другими изделиями серии СА «Композит» производства группы компаний «Элтикон» и обеспечивают удалённый ввод-вывод всех необходимых дискретных и аналоговых сигналов.

Вычислительные устройства НЦУ осуществляют полное управление технологическим процессом в реальном масштабе времени. Их взаимодействие с верхними уровнями ограничено приёмом заданий, инструкций, директив, уставок и передачей отчётов о текущем состоянии (векторе) управляющей программы и объекта управления.

Управляющая программа каждой линии выполняет функции интеллектуального автомата, который контролирует технологический процесс на следующих уровнях (в следующих потоках данных):

- ввод-вывод сигналов через распределённые УСО;
- цифровая фильтрация, масштабирование и иная цифровая обработка сигналов;
- управление отдельными механизмами с учётом требуемых, фактических и системных состояний механизмов;
- решение задач управления агрегатами, то есть функциональными объединениями механизмов, в частности, дозаторами, смесителями, транспортирующими линиями и т.д.;
- решение задач обучения и адаптации к свойствам материалов и оборудования с целью, например, прогнозирования массы падающего столба при дозировании и т.д.;
- решение задач управления множеством агрегатов с учётом поступающих «сверху» заданий, инструкций, директив, а также состояний агрегатов, механизмов и собственно управляющей программы;
- планирование и регулирование потока частных заданий агрегатам с целью оптимизации использования ресурсов оборудования и конвейеризации технологического процесса;
- обслуживание интерфейса с верхним уровнем, в том числе поддержание диалога при вмешательствах, обеспечение доступа к сохраняемым уставкам и настроечным параметрам оборудования и технологического процесса, формирование отчёта о текущем состоянии управ-

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

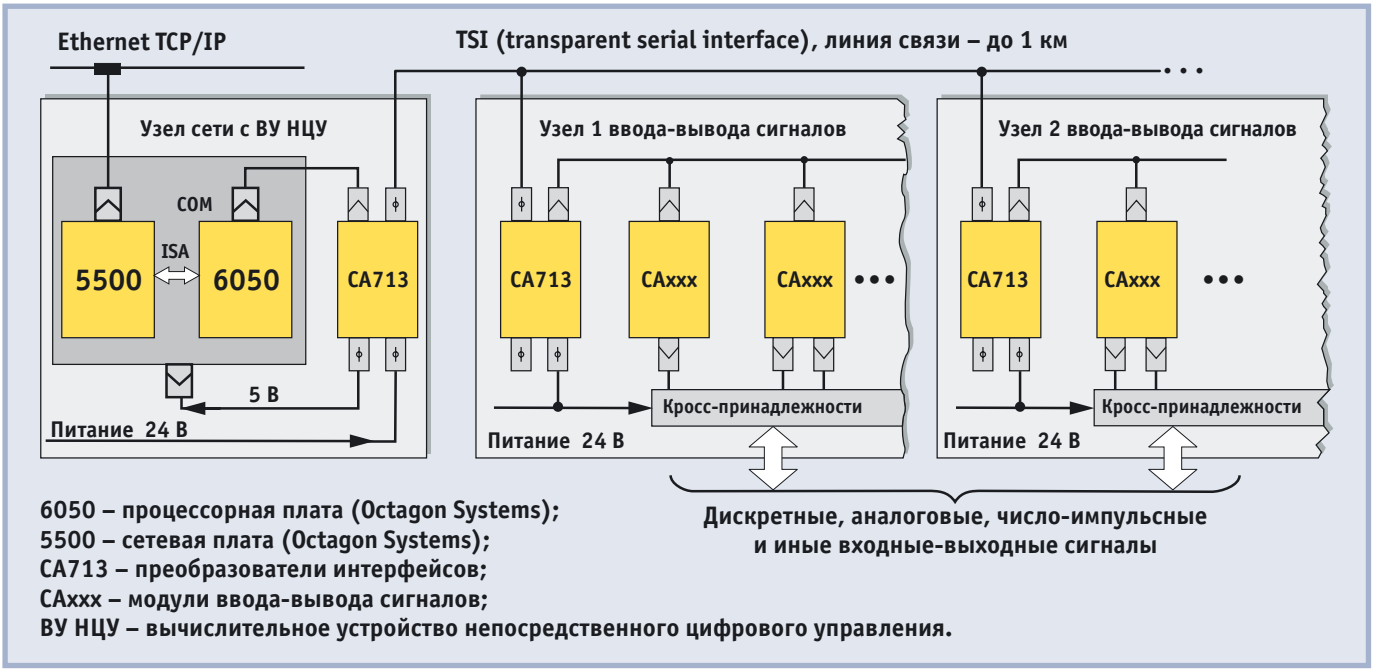


Рис. 6. Схема построения аппаратных средств НЦУ для одной технологической линии

ляющей программы и объекта управления (объём отчёта для задач автоматизации подобного класса – порядка тысячи переменных или тэгов);

- непрерывное сохранение данных о текущем состоянии (с контролем целостности данных) для обеспечения в случае несанкционированного выключения питания возможности «поднять» технологический процесс с той фазы, на которой он был прерван;
- непрерывная диагностика состояния технических средств системы управления, питающих сетей и т.д.;
- решение других задач, например обслуживание интерфейсов с автономно работающими приборами и оборудованием.

Локализация программного обеспечения НЦУ на одной вычислительной платформе имеет как очевидные, так и не совсем очевидные преимущества. Во-первых, разработка ПО ведётся целиком для неделимого технологического участка, в одной среде и для одной платформы, что снимает массу лишних вопросов, например: как распределить задачи и обеспечить целостность данных в контуре НЦУ с несколькими управляющими вычислительными устройствами; можно ли в этом случае обойтись единой средой разработки ПО и насколько она адекватна решаемым задачам; как обеспечить в контуре НЦУ единую сетку реального времени для согласованной цифровой обработки сигналов и внутренних переменных программы и т.д. — всего два десятка вопросов, сам факт наличия которых снижает потенциальную отказоустойчивость исполняемой программы НЦУ. Во-вторых, ПО нижних уровней при одном управляющем вычислительном устройстве в контуре НЦУ можно отладить на рабочем месте программиста (так, собственно, и делается), для чего достаточно иметь под рукой корзину с процессорной платой, которая потом уедет на объект. В-третьих, ресурсы современных изделий процессорной группы, в частности, производства фирм Octagon Systems и Fastwel, позволяют без проблем локализовать управление технологическим процессом на одной вычислительной платформе при любой сложности задач НЦУ и ёмкости УСО до 1000 входных и выходных сигналов. В-четвёртых, для исполнения программы НЦУ достаточно операционной системы MS-DOS и любого многозадачного ядра к ней. Причём среда разработки ПО вообще не имеет принципиального значения, и в группе компаний «Элтикон» разработка выполняется с использованием широко распространённых программных продуктов, так как специализированные системы автоматизированного проектирования всё равно не покрывают весь комплекс необходимых разработок — системной, функциональной, алгоритмической и программной (исключение составляют разве что простейшие задачи НЦУ).

Аппаратные средства непосредственного управления технологическим процессом

Конфигурация аппаратно-программных средств в описываемом проекте во многом продиктована наличием четырёх независимо работающих технологических линий. Так, если средства верхних уровней управления являются общими для четырёх линий (поскольку в системе общая база данных, технологическим процессом управляет один оператор и т.д.), то аппаратные средства, а заодно и управляющие программы нижних уровней разделены между линиями. Основной резон в таком разделении — возможность независимого останова линий для выполнения регламентного обслуживания технологического оборудования.

На рис. 6 приведена фактически типовая схема построения аппаратных средств НЦУ для неделимого технологического участка, в данном случае — для одной линии. Как видно, вычислительное устройство НЦУ является отдельным узлом сети. Оно конструктивно обособлено и содержит блок питания, монтажный каркас, процессорную плату, сетевую плату Ethernet для обмена данными с верхними уровнями управления и преобразователь интерфейсов RS-232/TSI для обмена данными с модулями удалённого ввода-вывода сигналов. В последнее время применяются процессорные платы с рези-

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

дентными адаптерами сети Ethernet, например плата 5070 фирмы Octagon Systems. В этом случае вычислительное устройство НЦУ комплектуется всего лишь блоком питания (24 В, 1 А), процессорной платой, преобразователем интерфейсов и собирается в подходящем корпусе (например INLINE фирмы Schroff) элементарным образом: комплектующие изделия крепятся и соединяются между собой одним плоским кабелем и четырьмя проводниками цепей питания. Надёжность такого устройства оказывается существенно выше надёжности базовых блоков многих популярных ПЛК и систем сбора данных и управления.

Остальные узлы сети по своему функциональному назначению являются устройствами связи с объектом (УСО) и комплектуются преобразователями интерфейсов TSI/RS-232 (по одному на узел), модулями ввода-вывода сигналов (до 20 на узел), необходимыми кросс-принадлежностями и блоками питания. В табл. 2 приведён перечень модулей серии СА «Композит», которые наиболее часто применяются в системах управления. Все

Таблица 2

Перечень наиболее часто применяемых модулей серии СА «Композит»

Тип	Назначение, краткие характеристики
СА713	Коммуникационный модуль (преобразователь интерфейсов RS-232/TSI и обратно, до 300 кбит/с)
СА324	Модуль ввода сигнала тензометрической системы весов или дозатора (18 разрядов АЦП, 15000…60000 точек разрешения)
СА318	Модуль ввода аналоговых сигналов постоянного/переменного тока (8 каналов, 12 разрядов АЦП, 10 мВ…5 В, 20 мА)
СА220	Модуль вывода дискретных сигналов (24 канала, 24 В постоянного тока)
СА172	Модуль ввода дискретных сигналов (24 канала, 24 В постоянного тока)

модули запитываются напряжением 16...32 В постоянного тока, имеют групповую изоляцию входов-выходов, а коммуникационный модуль (преобразователь интерфейсов) — полную изоляцию приёмопередатчика сигналов из линии в линию связи, цепей питания и шины обмена данными с другими модулями в узле. К кросс-принадлежностям относятся пассивные клеммные соединители, клеммные соединители с усилителями тока выходных сигналов, блоки реле, блоки поканальной гальванической изоляции входных сигналов, преобразователи уровней входных сигналов (например, 220 В переменного тока в 24 В постоянного тока) с поканальной гальванической изоляцией или без таковой и т.д.

Модули ввода-вывода сигналов и кросс-принадлежности к ним компонуются в узлы сети исключительно по топологическому признаку, то есть так, как их удобно распределять и конструктивно размещать на объекте. Для сборки устройств (узлов) не требуются специальные конструктивы, так как модули и кросс-принадлежности соединяются между собой плоскими кабелями с IDC-разъёмами.

В конкретном проекте для каждой технологической линии имеется один узел с вычислительным устройством

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

НЦУ и пять узлов удалённого ввода-вывода сигналов (максимальное количество узлов в одной сети — 32). Один из вариантов конструктивного исполнения УСО показан на рис. 7.

Основой для объединения устройств нижних уровней управления в сеть является Transparent serial interface (TSI) — интерфейс, разработанный в группе компаний «Элтикон».

TSI – это полевой интерфейс, реализующий функции канала последовательной передачи данных. Назначение TSI — объединение удалённых устройств в многоточечную сеть для осуществления обмена данными в полудуплексном режиме через их последовательные порты RS-232 или иные порты, имеющие раздельные линии RxD (принимаемые асинхронные данные) и TxD (передаваемые асинхронные данные). Технические требования к TSI распространяются на каналообразующую аппаратуру и линию связи, но не оговаривают протокол обмена и методы доступа к линии связи.

TSI имеет два варианта спецификации: A — для сети равнозначных устройств; B — для сети неравнозначных устройств, часть из которых условно определяется как master-устройства, а остальные — как slave-устройства.

В соответствии со спецификацией B интерфейс должен обеспечивать аппаратное разделение направлений «к slave» и «от slave». Такое разделение направлений даёт возможность 100-процентной загрузки канала при передаче данных старт-стопным методом и повышает надёжность обмена.

TSI-спецификации A заменяют интерфейс RS-485 во всех применениях, а спецификации B — во всех применениях с разделением устройств в сети на группы master и slave. Обратное утверждение несправедливо, то есть RS-485 не заменяет TSI.

Далее приведены основные технические данные и характеристики TSI обеих спецификаций:

- физическая среда распространения сигналов передачи данных — двухпроводная симметричная линия связи (далее — линия) с номинальным значением волнового сопротивления 120 Ом (дренажный провод в линии не требуется);
- уровни сигналов в линии лежат в диапазоне ±(2,6...5,8) В;
- скорость передачи данных не специфицируется (в конкретных приложениях — 115,2 кбит/с и более);
- приём/передача сигналов из линии/в линию осуществляется через гальванически изолированные со стороны линии конверторы (иначе — преобразователи интерфейсов, в описываемой системе это модули типа CA713), схема подключения конверторов к линии приведена на рис. 8;
- задержка освобождения линии конвертором после прекращения передачи данных активным устройством при старт-стопном методе передачи — не более длительности стоп-бита от момента его начала, то есть линия гарантированно освобождается к моменту окончания стоп-бита;
- конверторы сохраняют работоспособность (обеспечивают передачу данных) в условиях действия помехи общего вида относительно местной «земли» и/или экрана (дренажного провода) линии при амплитудном значении помехи до 2500 В и среднеквадратическом её значении до 500 В, на рис. 9 приведена схема проверки работоспособности конверторов в условиях действия помехи общего вида;
- конверторы индифферентны к обрыву, короткому замыканию линии и к конфликтным ситуациям в линии независимо от количества одновременно активизированных формирователей;

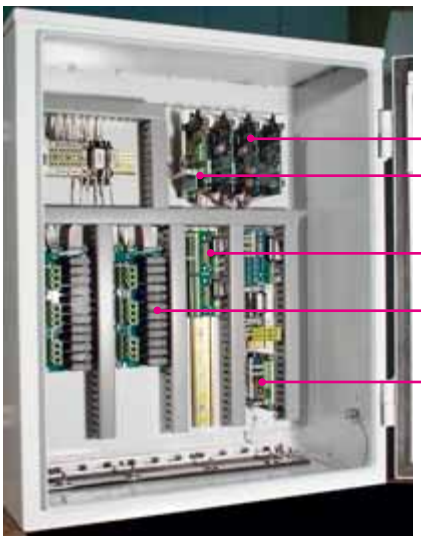
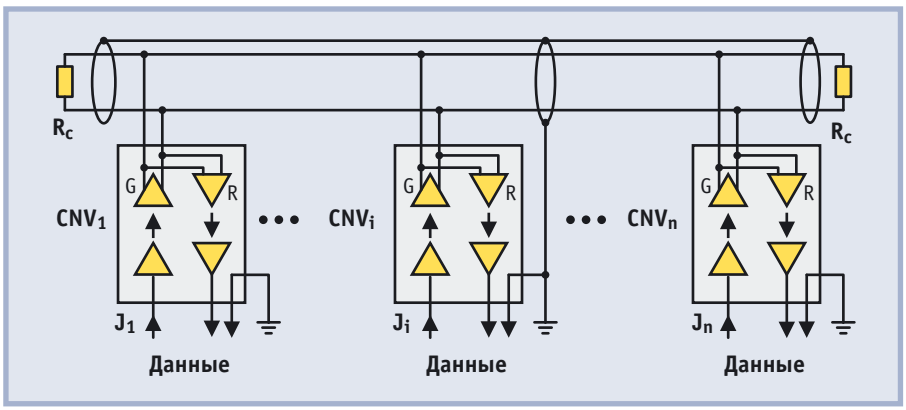


Рис. 7. Шкаф с УСО в смесительном отделении линии № 3



Условные обозначения:
CNV_i (i = 1...n) — конверторы; G — формирователи (передатчики) сигналов;
R — приёмники сигналов; J_i — последовательные порты конверторов;
R_c — нагрузочные резисторы на концах линии связи (120 Ом).

Рис. 8. Структурная схема канала передачи на основе TSI

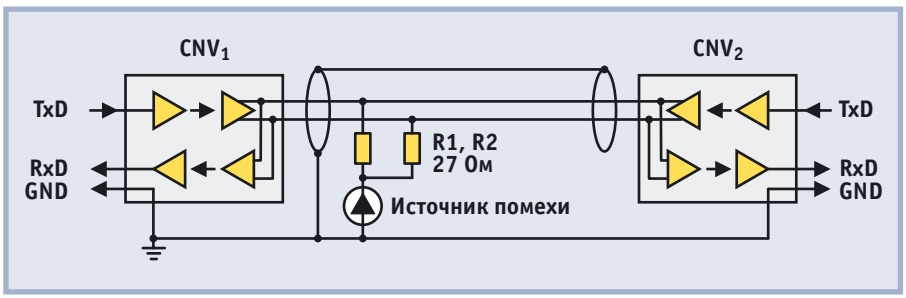


Рис. 9. Схема проверки работоспособности конверторов в условиях действия помехи общего вида

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

- конверторы не изменяют информационно-временную структуру данных, передаваемых в сети, за исключением задержек, обусловленных распространением сигналов (то есть канал передачи данных физически «прозрачен» для устройств в сети).

Таким образом, в схеме на рис. 6 преобразователи интерфейсов и линия связи образуют распределённую безынерционную шину, которая позволяет осуществлять прямой обмен данными между процессорной платой и модулями ввода-вывода через последовательные порты этих устройств.

TSI обеих спецификаций широко применяются группой компаний «Элтикон» с 1996 года. Именно тогда пришлось выбирать между RS-485 и собственной разработкой. С одной стороны, RS-485 является широко распространённым полевым интерфейсом и имеет в своей основе удачные системообразующие предпосылки: независимость от сетевого протокола, возможность объединять в сеть устройства через их стандартные COM-порты, достаточно большую протяжённость линии связи при небольшом количестве проводников в ней (два сигнальных и дренажный) и т.д. [1]. С другой стороны, RS-485 имеет «хлопотные» недостатки на уровне физики канала, как-то:

- недостаточная «прозрачность» канала передачи данных (для синхронизации приёмников требуются паузы между пакетами данных; недостатком является не только наличие пауз, но и необходимость весьма точного согласования по времени всех устройств);
- необходимость своевременного включения-выключения передатчиков для занятия-освобождения линии активными устройствами (простые способы управления состоянием передатчиков приводят к провалу уровня сигнала в линии при её освобождении; более сложные способы требуют жёстких соглашений и неоправданных затрат на их реализацию);
- недостаточная помехоустойчивость (приёмопередатчики сохраняют работоспособность при действии помехи общего вида с амплитудой до 7 В относительно потенциала дренажного провода и помехи нормального вида с амплитудой всего лишь до 0,2 В в состоянии «линия свободна»; в промышленных условиях уровни помех нередко превышают указанные значения).

Следует отметить, что гальваническая изоляция приёмопередатчиков не улучшает устойчивость интерфейса RS-485 к помехам и перенапряжениям, но позволяет уменьшить уровни создаваемых в линии помех, правда, не всегда до приемлемых значений.

Указанные недостатки интерфейса RS-485, во-первых, не позволяют создавать на его основе каналы передачи данных с коэффициентом загрузки, близким к 100% (особенно при малой длине пакетов), а во-вторых, требуют учёта конкретной электромагнитной обстановки на каждом объекте и нередко принятия дополнительных мер для обеспечения необходимой помехозащищённости каналов передачи данных в промышленных условиях. Поэтому в конечном счёте и был сделан выбор в пользу TSI.

С 2001 года в эксплуатацию введено более 60 систем управления с распределёнными УСО на основе TSI. Общее количество независимо работающих сетей ввода-вывода сигналов в этих системах — около 100. В каждой сети обмен данными с модулями ввода-вывода сигналов осуществляется в темпе 1000 сеансов связи «запрос-ответ» за одну секунду. Нетрудно подсчитать, что при равномерном вводе систем в эксплуатацию за указанный период и коэффициенте загрузки оборудования не менее 30% общее количество состоявшихся сеансов связи во всех сетях превышает 10^{12}. Имеющиеся в системах регистраторы не обнаружили при этом ни одной ошибки в каналах передачи данных. И это несмотря на то что:

- во-первых, УСО распределяются на объектах совершенно произвольным образом и линии связи между ними прокладываются по общим кабельным трассам без каких-либо специальных мер защиты от помех (меры на всякий случай разработаны, но ещё ни разу не применялись);
- во-вторых, на многих объектах бывает сложная и непредсказуемая электромагнитная обстановка, которая создаёт иногда весьма существенные проблемы при работе с каналами Ethernet даже в случае наличия помехозагораживающих развязок в виде концентраторов и других устройств;
- в-третьих, в каждом сеансе связи с модулями ввода-вывода сигналов контролируется тридцать (!) признаков достоверности данных, и если хотя бы по одному признаку обнаруживается ошибка обмена, данные считаются недостоверными, а сеанс связи объявляется несостоявшимся с регистрацией типа ошибки.

И, наконец, кратко о драйвере ввода-вывода сигналов. Драйвер работает с сетевым квантом времени, равным 1 мс. Для этого системный таймер на процессорной плате перестраивается на 1 мс, что под MS-DOS делается достаточно просто. В течение одного сетевого кванта, то есть в одном временном слоте, осуществляется обмен данными с одним из модулей ввода-вывода в соответствии с его сетевым адресом в режиме «запрос ведущего — ответ ведомого». Одного слота достаточно для ввода или вывода 24 дискретных сигналов или двух 12-разрядных аналоговых сигналов и т.д.

Процесс обмена со стороны драйвера происходит следующим образом: по запросу прерывания системного таймера в процедуре обработки запроса в буфер передатчика COM-порта помещаются подготовленные данные запроса в текущем временном слоте определенному модулю в сети; из буфера приёмника COM-порта считываются данные ответа на запрос в предыдущем временном слоте; принятые данные обрабатываются (анализируются на предмет отсутствия ошибок обмена, фильтруются, масштабируются и объявляются другим задачам); подготавливаются данные запроса в следующем временном слоте. Важно то, что драйвер работает только по прерываниям системного таймера и отвлекает незначительную долю времени процессора. Модуль, которому адресован запрос, отвечает практически немедленно после приёма запроса. Ответ следует только в том случае, если в принятых данных не обнаружены ошибки, иначе модуль «молчит».

Скорость передачи данных в сети удалённого ввода-вывода сигналов обычно равна 115,2 кбит/с. Реальное время обмена в одном сеансе «запрос-ответ» не превышает 0,86 мс. Сеть может быть настроена на скорость 230,4 кбит/с. В этом случае обмен данными происходит в два раза быстрее.

Настройка драйвера на конкретный проект заключается в указании типов (форматов данных) имеющихся в сети модулей и последовательности их цик-

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

лического опроса. В конкретной системе управления для Тушинского завода ЖБК цикл опроса модулей в сети равен 10 мс, то есть состоит из десяти временных слотов. Ввод-вывод большинства сигналов осуществляется именно с таким циклом. И только самые «медленные» сигналы, например от датчиков температуры, вводятся с «прореженным» циклом 50 мс.

Ограниченный объём одной статьи не позволяет подробнее рассмотреть сетевой протокол и другие вопросы построения аппаратно-программных средств НЦУ.

В качестве резюме следует остановиться на вопросах надёжности модулей серии СА «Композит» [2], так как о высокой надёжности других аппаратных средств описываемой системы управления много сказано в других публикациях. По совокупности характеристик изделия серии СА «Композит» изначально рассчитаны на применение в ответственных системах управления в промышленности, на транспорте, в энергетике. Расчётные характеристики надёжности подтверждаются, в частности, следующим фактом: с 2001 года в эксплуатацию введено более 2000 таких изделий, на которые приходится только один неподтверждённый отказ (изделие осталось у его владельца). Экстраполяционная оценка среднего времени наработки одного изделия на отказ при имеющейся статистике зависит от применяемого метода расчёта, но в любом случае результат для модулей серии СА исчисляется десятками лет.

Заключение

Представленный в статье проект отличается большим объёмом подготовительных, монтажных и пусконаладочных работ на объекте, особенно если учесть, что заказчик «взял на себя повышенные обязательства», изготовив новые грузоприёмные устройства дозаторов цемента и инертных компонентов. Тем не менее все работы на объекте выполнены всего лишь за шесть месяцев и без остановки производства. Точнее говоря, каждая из технологических линий останавливалась на три дня (пятницу, субботу, воскресенье).

Авторы выражают признательность сотрудникам Тушинского завода ЖБК: главному инженеру А.М. Билыку, заместителю главного инженера И.Д. Требесову, начальнику БСЦ И.Н. Толкачёву, механику БСЦ А.И. Филатову, инженеру КИПиА А.Ю. Горчилину, начальнику лаборатории Г.Л. Войцеховской, начальнику АСУП А.А. Зюлину, а также заместителю директора ЗАО «Компьютел» О.А. Малееву — за взаимопонимание и профессиональное сотрудничество со специалистами группы компаний «Элтикон» при выполнении работ на объекте и вводе АСУ ТП в эксплуатацию. ●

Литература

1. Локотков А. Интерфейсы последовательной передачи данных. Стандарты EIA RS-422/RS-485// Современные технологии автоматизации. — 1997. — № 3.
2. ТУ РБ 100221115.001-2002. Система автоматизации блочно-модульная СА «Композит». Технические условия.

Авторы — сотрудники группы компаний «Элтикон»
Телефоны: (095) 786-7670, (+375-17) 289-6333

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru