



Опыт автоматизации тепловлажностной обработки бетона

Александр Деркач, Владимир Красных, Виталий Литвиненко, Антон Риккель, Сергей Смирнов, Румада Зейналова

В статье описывается опыт создания автоматизированной системы управления технологическим процессом тепловлажностной обработки железобетонных изделий на заводе «Спецжелезобетон» (г. Лиски, Воронежская область).

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно технологический процесс производства железобетона включает операции приготовления бетонной смеси, формования изделий и тепловлажностной обработки изделий. Тепловлажностная обработка бетона завершает технологический процесс производства бетонных и железобетонных изделий и используется для ускорения твердения бетона.

Наиболее широко применяется тепловлажностная обработка (ТВО) бетона пропариванием в специальных камерах при нормальном давлении и температуре 60–100°C. Высокие температуры (порядка 80–90°C) ускоряют химические реакции в бетоне. Например, если изделие пропарить во влажной среде при температуре 80–90°C в течение 12–16 часов, то можно получить бетон с

прочностью, равной 65–70% прочности 28-суточного бетона. Именно так и поступают при заводском изготовлении железобетонных изделий.

Технологический процесс ТВО состоит из следующих основных операций:

- загрузка смонтированных форм в пропарочную камеру;
- закрытие крышки камеры и контроль её положения;
- предварительная выдержка изделий под крышкой (без пара, 1–2 часа);
- набор необходимого значения температуры по заданному графику процесса ТВО (2–3 часа);
- выдержка при заданной температуре (изотермия с поддержкой паром, 2–7 часов, 65–90°C);
- снижение температуры в соответствии с графиком процесса (3–6 часов);

- открытие крышки камеры и выгрузка форм из пропарочной камеры.

В предлагаемой вниманию читателей статье описывается опыт создания и внедрения автоматизированной системы управления технологическим процессом тепловлажностной обработки (АСУ ТП ТВО) железобетонных изделий на заводе «Спецжелезобетон» (г. Лиски, Воронежская область).

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

90-е годы прошли для формовочного цеха завода «Спецжелезобетон» бесследно, в том смысле, что не осталось и следа от исходной локальной автоматики, которой цех был оборудован при строительстве.

Формовочный цех завода включает в себя пять рабочих пролётов с пропарочными камерами и лабораторию. Каждый пролёт состоит из двух секций, по четыре камеры в каждой секции. На рис. 1 представлен общий вид формовочного цеха, а на рис. 2 — вид пропарочной камеры сверху.

Подача пара в цех осуществляется с предприятия-сателлита по магистральному паропроводу. На входе в цех ТВО установлен узел учёта параметров поступающего пара (давление, температура, расход), устройств по поддержанию параметров в заданных пределах не предусмотрено. От входного паропровода отходят пять линий для подвода пара в каждый пролёт. Далее — ещё один уровень ветвления в секционном распределителе, и в итоге в каждую камеру идёт свой паропро-



Рис. 1. Общий вид формовочного цеха завода «Спецжелезобетон» (г. Лиски)



Рис. 2. Пропарочная камера (крышка снята, изделия загружены)

вод. Регулирование подачи пара из распределительного устройства в камеру производится двумя параллельно установленными вентилями.

До внедрения АСУ ТП ТВО управление технологическим процессом выглядело в общих чертах так: оператор обходит цех (40 камер) с ручным термометром (цена деления 2°C), снимает показания, записывает их в «базу данных» (листок бумаги), устанавливает вентили подачи пара в надлежащее положение, руководствуясь здравым смыслом и богатым жизненным опытом, возвращается в лабораторию и переписывает данные в grossбук. Далее цикл повторяется с периодом в один час. Такая картина сохранялась до 2007 года, когда было принято решение о проведении реконструкции и внедрении автоматизированной системы.

Постановка задачи

АСУ ТП ТВО создавалась и внедрялась со следующими целями:

- увеличение объёмов выпуска и повышение качества изготавливаемой продукции;
- повышение надёжности и качества управления процессом ТВО;
- оптимизация процесса ТВО и снижение расхода энергии;
- обеспечение возможности интеграции в централизованную систему управления производством.

Система решает комплекс задач управления технологическим процессом, а именно:

- централизованное ручное управление, визуализация и контроль технологического процесса с АРМ оператора ТВО, расположенного в помещении лаборатории;
- автоматическое управление технологическим процессом в соответствии с заданием оператора;

- сбор, регистрация, анализ и архивирование текущих параметров технологического процесса в каждой камере;
- выявление и регистрация системных и технологических событий и аварий;
- диагностика состояния оборудования;
- формирование отчётности.

В перспективе система АСУ ТП ТВО может быть интегрирована в общезаводскую информационную систему управления производством.

ОБЩИЕ СИСТЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

Структурная схема АСУ ТП ТВО изображена на рис. 3.

Система делится на три уровня, и в её состав входят:

- исполнительные устройства, датчики температуры, давления и положения крышек камер;
- шкафы контроллеров (ТВО К1, ТВО К2, ТВО К3);
- автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора ТВО и инженерная станция.

В каждой из 40 камер установлен один датчик температуры (сигнал 4...20 мА), один оптический датчик положения крышки (дискретный сигнал 24 В) и один отсечной клапан управления подачи пара (два дискретных сигнала управления 220 В и два дискретных сигнала положения). Кроме того, используются несколько сигналов контроля температуры и давления и управления на линиях паропроводов. Всего в системе задействовано:

- 50 аналоговых сигналов (4...20 мА);
- 172 дискретных сигнала контроля (24 В пост. тока);
- 94 дискретных сигнала управления (220 В перем. тока).

Также в системе имеется 40 контуров регулирования температуры в камерах.

С учётом рассредоточенности камер ТВО по территории цеха контроллерное оборудование размещено в трёх шкафах (ТВО К1, ТВО К2, ТВО К3) в непосредственной близости от соответствующих технологических объектов. Связь контроллеров с АРМ оператора и инженерной станцией осуществляется по сети Ethernet (линия длиной примерно 100 м).

Верхний уровень системы представлен рабочей станцией, расположенной в помещении лаборатории, обслуживающей технологический процесс. В рабочую станцию загружено программное обеспечение АРМ оператора. Для отладочных целей и резервирования АРМ оператора к системе может подключаться компьютер инженерной станции с соответствующим программным обеспечением.

Основная функция системы — это поддержание температуры пара в пропарочной камере.

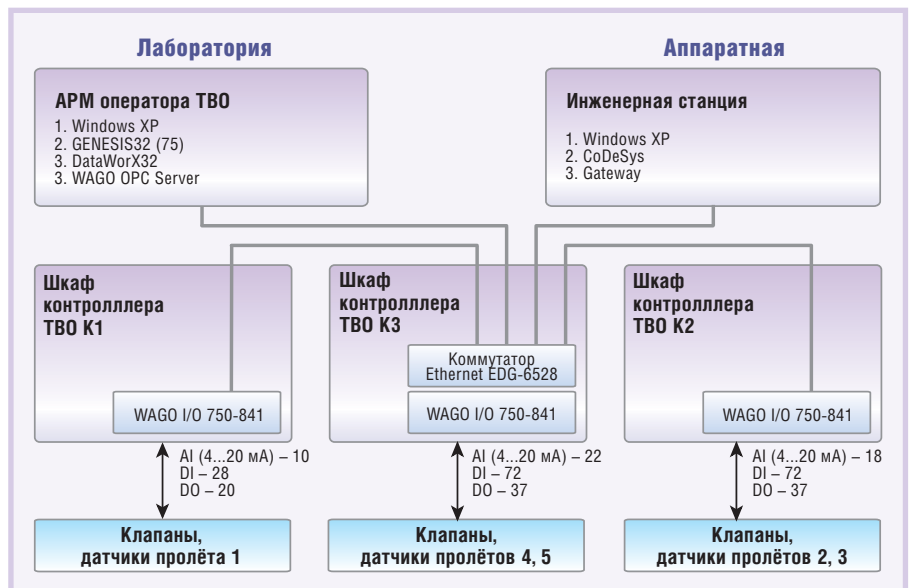


Рис. 3. Структурная схема АСУ ТП ТВО



Рис. 4. Электроклапаны, установленные на паропроводе



Рис. 5. АРМ оператора ТВО

рочных камерах в соответствии с циклограммой, задаваемой оператором. Контроль температуры в камере производится по выходному сигналу термометра сопротивления, рабочая часть которого помещена в камеру. Регулирование температуры пара в камере осуществляется открытием или закрытием клапана, установленного на паропроводе, по которому поступает в камеру пар (рис. 4). Информация о положении клапана, установленного на вращающемся к камере паропроводе, поступает с датчиков положения клапана. Положение крышки камеры контролируется оптической системой, состоящей из оптоэлектронного датчика и отражателя, установленного на крышке пропарочной камеры. Отслеживание заданного циклограммой значения температуры осуществляется автоматически с помощью алгоритма, выполняемого контроллерами шкафов ТВО К1, ТВО К2, ТВО К3. Контроллеры обеспечивают одновременное отслеживание циклограмм для 40 камер. В дистанционном режиме работы системы реализовано ручное управление с АРМ оператором ТВО положения клапана для управления нагревом или остыванием пара в камере.

АРМ оператора ТВО позволяет контролировать на экране дисплея температуру в каждой камере, положение клапанов, режим работы (автоматический, дистанционный), предупредительные и аварийные сообщения. По каждой камере осуществляется графическое отображение циклограммы и текущих значений температуры в камере. В случае необходимости на экране можно отобразить в графическом виде архивные данные о выполненных циклограммах и значениях температур в камерах.

Для документирования технологического процесса АРМ оператора ТВО

формирует (по требованию оператора) «Журнал ТВО», в котором фиксируются номер пропарочной камеры, наименование и количество изделий, временные отсчеты исполнения циклограммы, часовые отсчеты значения температуры в камере, фамилия оператора.

По команде оператора журнал распечатывается на принтере.

Комплекс технических средств

Комплекс технических средств (КТС) рабочего места оператора (рис. 5) включает высокопроизводительную станцию оператора АСУ — промышленный компьютер IPC-SYS1-1 модельного ряда AdvantiX (фирма FASTWEL), лазерный принтер (HP LaserJet 1022), источник бесперебойного питания (модель SUA750I фирмы APC). Модель компьютера FASTWEL® AdvantiX IPC-SYS1-1 представляет собой рабочую станцию для оператора АСУ, построенную на базе процессора Intel Celeron D. На IPC-SYS1-1 имеется сертификат соответствия и гигиенический сертификат. Модель ударопрочная, устойчива к вибрациям, температурным воздействиям, повышенной влажности и проявила себя надежной в эксплуатации. За девять месяцев, когда длилась пусконаладка и опытная эксплуатация, никаких явлений по категориям «виснет», «глючит» и т.п. не зафиксировано.

Основные функции по вводу информации от датчиков и реализации алгоритмов управления исполнительными механизмами выполняются автоматикой, размещенной в шкафах контроллеров ТВО К1, ТВО К2, ТВО К3, которые состоят из следующих основных конструктивных узлов:

- корпус;
- панель для кабельных вводов;

- панель монтажная.

В качестве корпуса используется шкаф фирмы Rittal (рис. 6), имеющий степень защиты IP65 по ГОСТ 14254-96. Конструкция шкафа предусматривает использование его в условиях промышленного объекта с закреплением в вертикальном положении на стенах или специальных средствах для монтажа оборудования. Шкаф закрывается дверцей с установленным на ней замком и размещается в вандоустойчивом сейфе.

Для подвода проводов и кабелей предусмотрена съемная панель в нижней части корпуса.

Монтажная панель крепится у задней стенки корпуса. На монтажной панели установлены:

- программируемый логический контроллер WAGO I/O 750-841 с модулями ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов (в дальнейшем — контроллер);
- источники вторичного электропитания (в дальнейшем — ИВЭП) с выходным напряжением +24 В постоянного тока для питания контроллера, модулей ввода/вывода, датчиков и катушек реле;
- электромеханические реле фирмы Omron;
- наборные клеммы WAGO для подключения сигналов;
- коробка для укладки кабелей и проводов;
- автоматические выключатели.

В качестве примера на рис. 7 показана функциональная схема шкафа ТВО К1.

Основу ТВО К1 составляет модуль программируемого логического контроллера 750-841 фирмы WAGO, который предназначен для работы в локальных и корпоративных сетях по интерфейсу Ethernet. Контроллер совместно с модулями ввода/вывода обеспечивает выполнение основных функ-



Рис. 6. Шкаф контроллера ТВО

ций по вводу и первичной обработке информации, а также обработку основных алгоритмов управления объектом. Контроллер имеет возможность подключения до 64 модулей ввода/вывода дискретных и аналоговых сигналов.

При выполнении основного цикла прикладной программы контроллером 750–841 осуществляется сохранение в его памяти измеренных значений аналоговых сигналов и состояний дискретных входов, а также происходит установка дискретных выходов контроллера в определённые состояния. Область памяти с сохранёнными значениями аналоговых и дискретных сигналов по запросу может быть передана по сети Ethernet на АРМ оператора. Для формирования запросов используется протокол прикладного уровня Modbus. Транспортная функция реализована с использованием протокола TCP/IP. Для установки дис-

кретных выходов в определённые состояния используются внешние запросы, которые записывают в фиксированную область памяти контроллера образ состояния дискретных выходов. При выполнении очередного основного цикла программы контроллер считывает из памяти этот образ и устанавливает дискретные выходы в определённые состояния.

В ходе основного цикла программы контроллер обрабатывает ряд алгоритмов по поддержанию температуры в камерах в соответствии со значениями, заданными циклограммами.

Ввод и вывод информации в контроллер от объекта управления осуществляется через модули ввода/вывода серии 750-XXX системы WAGO I/O. Аналоговые сигналы 4...20 мА от датчиков поступают на входы модулей аналогового ввода серии 750–452. Дискретные входные сигналы с выходов типа «сухой» контакт проходят непосредственно от датчиков, установленных на контролируемом объекте, на модули серии 750–415. Питание цепей датчиков осуществляется от ИВЭП серии БП14Б-Д4.4-24 фирмы ОВЕН и ИВЭП DNR60US24 производства компании XP Power.

Для формирования дискретных сигналов телеуправления в ПТК применяются универсальные реле фирмы Omron серии MY. Реле осуществляют коммутацию внешних цепей с напряжением до 220 В и током до 10 А. Управление реле выполняется модулями дискретного вывода серии 750–516. Для ввода напряжения, подаваемого на катушки реле, используются модули 750–610. Напряжение берётся от ИВЭП DNR60US24.

Оконечный модуль 750–600 обеспечивает работу системы, замыкая линию

адреса внутренней шины; он устанавливается в конце собранного узла контроллера WAGO I/O.

Для обеспечения модуля контроллера 750–841 качественным электропитанием необходим ещё один ИВЭП DNR60US24.

Контроллеры и компьютер АРМ объединены в локальную сеть с помощью промышленного коммутатора EDG-6528 фирмы Advantech. EDG-6528 поддерживает восемь интерфейсов 10/100Base-T, обеспечивает полно- и полудуплексный режим передачи данных, автоматическое распознавание полярности и типа кабеля в стандарте MDI/MDI-X и защиту от электростатического разряда до 4000 В постоянного тока.

Сеть разведена экранированным кабелем 1633E производства фирмы Belden (4 витые пары категории 5е). Несмотря на высокий уровень электромагнитных помех в цехе (постоянно работают электросварка, конвейеры, мостовые краны и другое технологическое оборудование), в ходе пусконаладки и опытной эксплуатации сеть работала без нареканий.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Структура программного обеспечения (ПО) АСУ ТП ТВО показана на рис. 8.

Прикладное ПО контроллеров WAGO I/O 750-841 создавалось в среде разработки CoDeSys фирмы 3S (Smart Software Solutions GmbH) с использованием языков программирования ST и SFC стандарта IEC 61131-3. Программы контроллеров почти идентичны, имеются лишь небольшие количественные отличия, связанные с составом обслуживаемого оборудования.

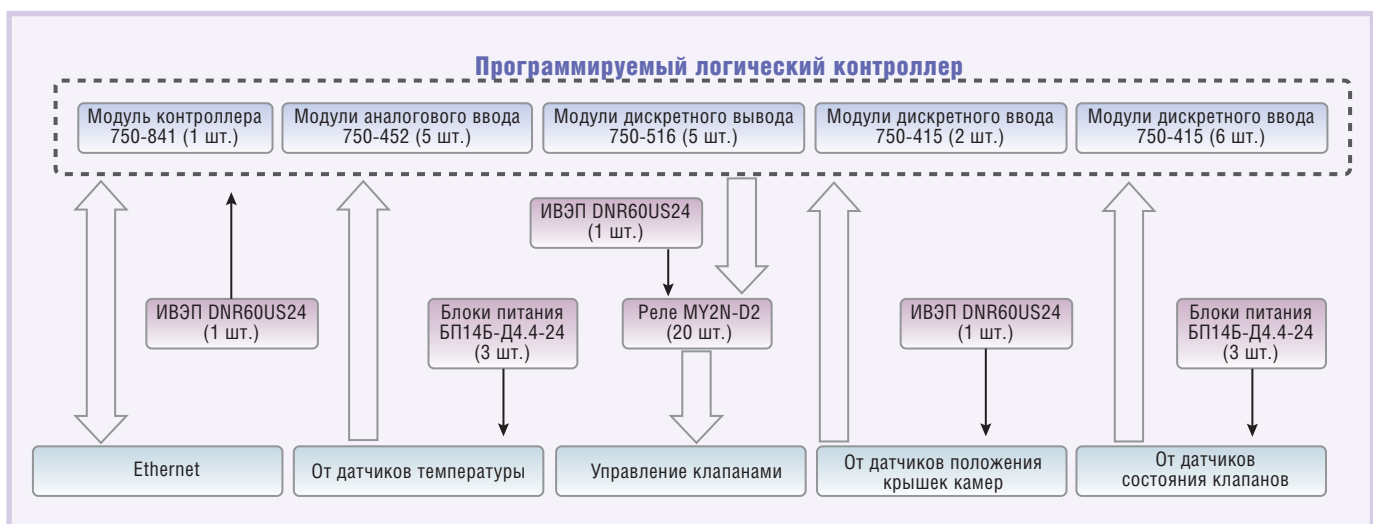


Рис. 7. Функциональная схема шкафа ТВО К1

ПО нижнего уровня, реализуемое контроллерами, решает следующие основные задачи:

- приём, распаковка и интерпретация командных слов, полученных от программы АРМ оператора;
- передача оперативных данных на АРМ оператора и инженерную станцию;
- мониторинг датчиков, анализ достоверности получаемой информации и сигнализация о состоянии датчиков, анализ исправности технологического оборудования;
- в ручном режиме – дистанционное (от АРМ оператора) управление исполнительными механизмами;
- в автоматическом режиме – регулирование температуры в камерах в соответствии с определённой оператором циклограммой.

На рис. 9 приведён фрагмент программы на языке SFC, реализующий алгоритм управления клапаном.

Прикладное программное обеспечение АРМ оператора разработано с использованием SCADA-системы GENESIS32 v7.2 фирмы ICONICS и развёрнуто на промышленном компьютере AdvantiX IPC-SYS1-1.

Программное обеспечение АРМ оператора ТВО решает следующие задачи:

- визуализация параметров технологического процесса (рис. 10);
- выбор оператором режимов работы;
- подача команд оператора в режиме ручного управления;
- запись информации о параметрах процесса в архив;
- выявление и регистрация событий и аварий в системе;
- просмотр исторических данных и отчётов тревог и событий;
- просмотр текущих и исторических данных в виде трендов;
- формирование конфигурационной и командной информации;
- обмен информацией с контроллерами;
- печать сменных отчётов в форме журнала ТВО.

Взаимодействие между контроллерами и АРМ оператора ТВО осуществляется по локальной сети Ethernet с использованием протокола Modbus TCP. В связи с ограничениями приобретённой лицензии на SCADA-систему (75 тегов) и довольно большим объёмом передаваемой информации оперативный обмен ведётся упакованными двойными словами (4 байта).

Для тестирования, отладки, сопровождения и развития системы в состав комплекса входит дополнительный

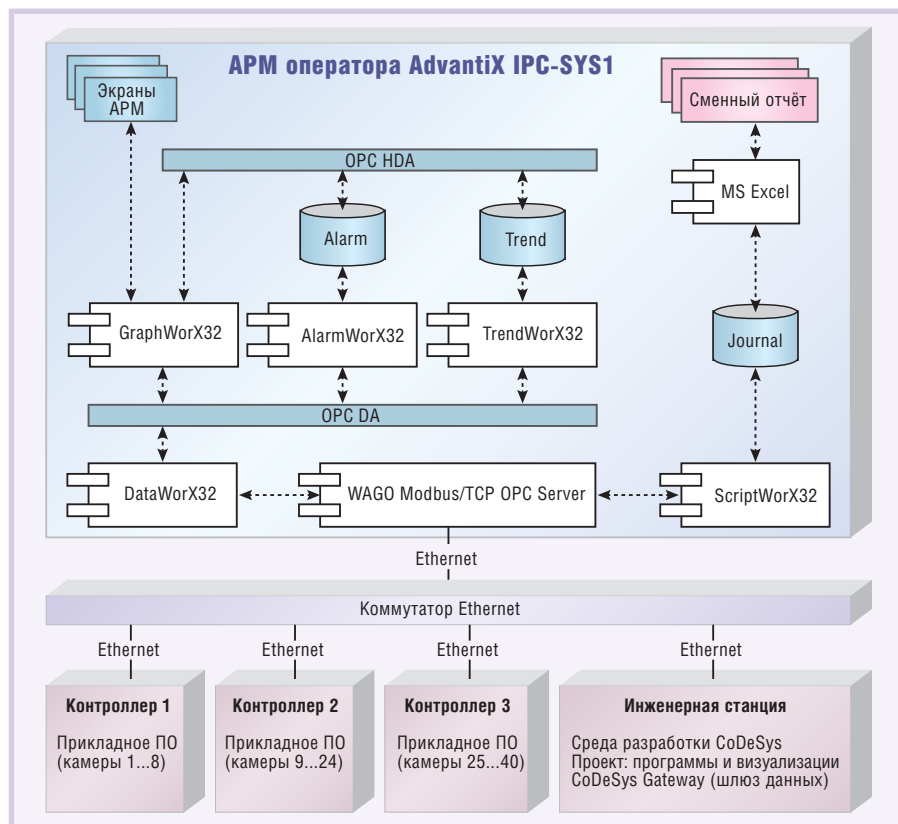


Рис. 8. Структура программного обеспечения АСУ ТП ТВО

компьютер (инженерная станция), на котором установлена среда разработки программного обеспечения контроллеров CoDeSys. Это даёт возможность модифицировать, отлаживать и перезагружать программы в контроллеры непосредственно на объекте без оста-

новки технологического процесса. Это особенно актуально, так как пусконаладка АСУ ТП ТВО осуществлялась в условиях безостановочной работы технологического оборудования.

В связи с этим хотелось бы отметить ряд существенных преимуществ кон-

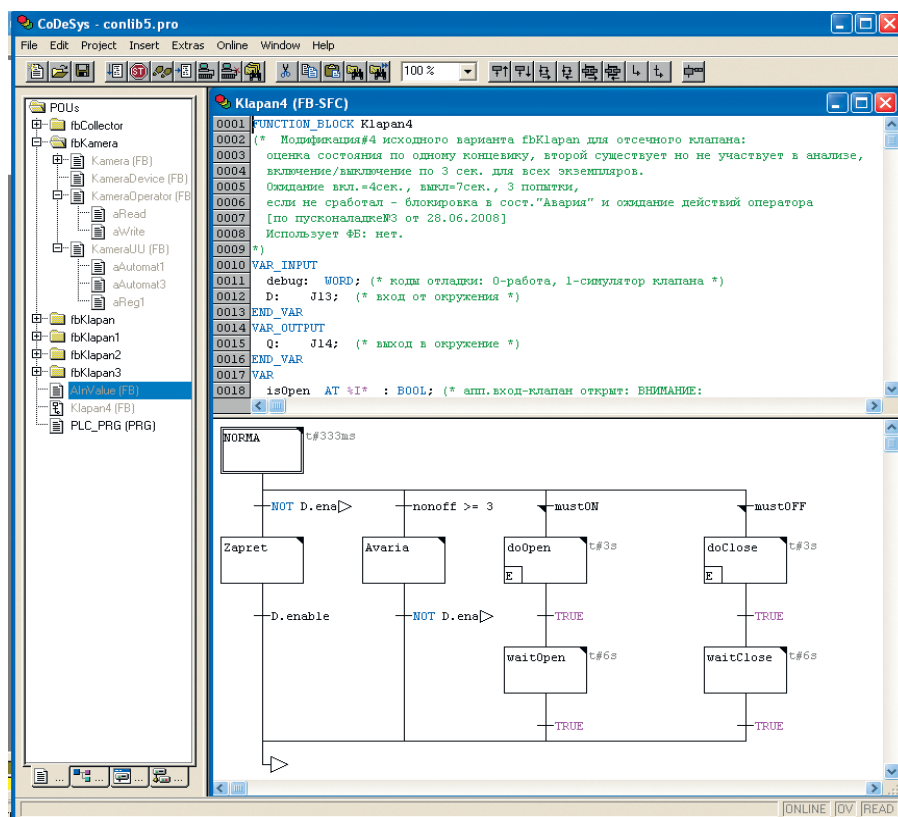


Рис. 9. Фрагмент программы на языке SFC, реализующий алгоритм управления клапаном

- Средой разработки поддерживаются все языки стандарта МЭК и возможность использования разных языков в одном проекте. Нами использовались два из пяти: SFC и ST. Практика показала очень высокую эффективность этой пары.
- Хорошие возможности по масштабированию проекта обеспечивает поддержка массивов функциональных блоков и конфигурационных (шаблонных) переменных.
- При переходе в режим исполнения среда разработки превращается в удобный и эффективный отладчик,

- Большая вычислительная мощность и многозадачная исполнительная система контроллера позволили легко встроить в программу имитатор объекта управления, что очень полезно при отладке алгоритмов.
- Весьма удобным средством в CoDeSys являются так называемые визуализации (это аналог экранов SCADA-систем). Они осуществляют взаимодействие с любыми переменными проекта через встроенный шлюз передачи данных Gateway (с минимальными усилиями со стороны программиста)

Данная работа выполнена в содружестве специалистами фирмы «Шатл» (г. Казань), НПП «АСУбетон» (г. Баку) и НПО «Инженер-2000» (г. Саратов). ●

CTA 4/2009