

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
СЕВЕРОМУЙСКОГО ТОННЕЛЯ**

**Б. Н. Пищик, Л. А. Воронцова, П. В. Йосифов,
В. Д. Нескородев, В. В. Окольников,
Т. М. Осокина, А. И. Федоров, Д. В. Чернаков**

*Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН,
г. Новосибирск
E-mail: okoln@kti.nsc.ru*

Представлена реализация автоматизированной системы управления технологическими процессами Северомуйского тоннеля (АСУТП СМТ). Рассматриваются подсистемы АСУТП СМТ, которые могут быть использованы при разработке других АСУТП.

Введение. В декабре 2003 г. сдан в эксплуатацию железнодорожный Северомуйский тоннель (СМТ) Байкало-Амурской магистрали, который является самым протяженным тоннелем в России (15,3 км). Он расположен в сейсмоопасной зоне с резко континентальным климатом, имеет выходы грунтовых вод с содержанием радона и других вредных газов.

Для обеспечения условий безопасной эксплуатации тоннеля в нем установлено около 200 единиц тепловентиляционного, запорного и осветительного оборудования, датчики контроля параметров воздушной среды (температуры, содержания радона, СО, NO₂ и т. д.). Для управления этим оборудованием в Конструкторско-технологическом институте вычислительной техники (КТИ ВТ) СО РАН разработана автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП), которая с 2005 г. находится в опытной эксплуатации в СМТ.

Цель данной работы – представить программное обеспечение АСУТП СМТ, типовые компоненты и собственные инструментальные средства которого могут быть использованы при создании других АСУТП подобного класса.

В разд. 1 описываются структуры и подсистемы (ПС) программно-технического комплекса (ПТК) АСУТП СМТ, используемые в оперативном контуре управления. В разд. 2 представлено описание инструментальных ПС АСУТП СМТ, которые могут быть использованы при разработке других АСУТП.

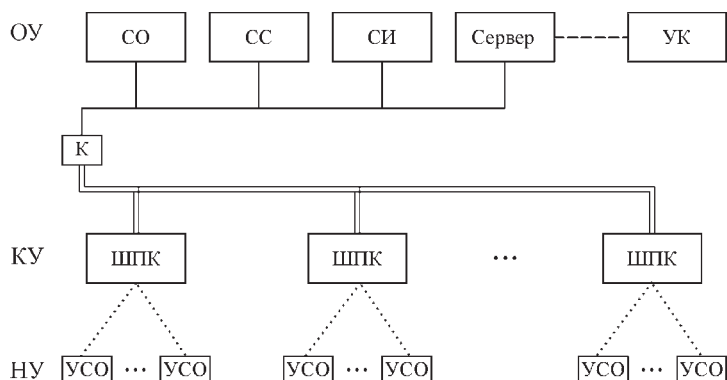


Рис. 1

1. Структура ПТК АСУТП СМТ представляет собой трехуровневый комплекс аппаратных и программных компонентов, объединенных несколькими локальными вычислительными сетями (ЛВС). Уровнями структуры АСУТП СМТ (далее по тексту АСУТП) являются:

- операторский уровень (ОУ) – уровень операторских станций;
- контроллерный уровень (КУ) – уровень программируемых контроллеров;
- нижний уровень (НУ) – уровень удаленных и распределенных объектов управления и датчиков как простых, так и интеллектуальных.

Данная структура представлена на рис. 1: СО – станция оперирования, СС – станция сигнализации, СИ – станция инженера, УК – удаленные клиенты, К – коммутатор, ШПК – шкаф программируемых контроллеров, УСО – устройства сопряжения с объектами (сплошная линия – ЛВС верхнего уровня, двойная сплошная линия – дублированная ЛВС, штриховая линия – Intranet/Internet, пунктирная линия – ЛВС нижнего уровня).

В АСУТП ШПК объединены дублированной Ethernet-сетью (основная сеть – оптоволокно, резервная сеть – медь). Дублирование сети повышает надежность системы за счет возможности переключения с одной сети на другую. Кроме этого дублированная ЛВС имеет физическую кольцевую структуру, что позволяет сохранять частичную работоспособность системы при физическом разрушении отдельных участков сети. ЛВС верхнего уровня реализована на витой паре. В локальных вычислительных сетях АСУТП используется протокол TCP/IP.

Контроллерный уровень. На контроллерном уровне в АСУТП имеется шесть ШПК, содержащих десять программируемых логических контроллеров (ПЛК) на базе семейства MicroPC (фирмы “Fastwel”). В состав ПЛК входят: процессорная плата (среда ОС реального времени QNX4.25), плата сетевого интерфейса и платы ввода/вывода для связи с устройствами сопряжения с объектом (производители “Advantech”, “Grayhill”).

Основными ПС, исполняемыми на ПЛК, являются: подсистема сбора и обработки сигналов (ПСОС), подсистема контроля и управления технологическим оборудованием (ПКУТО), менеджер программного обеспечения (МПО).

Подсистема сбора и обработки сигналов выполняет:

- циклический опрос датчиков сигналов с периодом 0,1 с через последовательные порты RS232, RS485 с помощью драйверов плат ввода/вывода, разработанных в КТИ ВТ СО РАН;

- диагностику достоверности сигнала (запрет опроса, отсутствие ответа от датчика, отсутствие данных в ответе датчика, неверный ответ от датчика и др.);

- обработку аналоговых сигналов (проверка попадания значения сигнала в диапазон измерения датчика, калибровка, масштабирование, фильтрация);

- обработку дискретных сигналов (защита от дребезга и от пульсаций);

- проверку значения сигнала на отклонение за технологические «уставки» с выдачей сигнальных сообщений;

- посылку команд управления на исполнительные механизмы.

Возможные изменения параметров обработки существующих сигналов («физические координаты» датчика, запрет опроса, период опроса, значения уставок) или добавление новых сигналов, подключаемых с помощью реализованных в АСУТП драйверов, не требуют ни перепрограммирования, ни перезапуска ПСОС или контроллера. Эти параметры находятся в таблице сигналов конфигурационной базы данных (КБД) на сервере и могут быть изменены средствами автоматизированного рабочего места инженера на СИ в процессе работы системы.

При подключении новых типов сигналов или приборов, для которых в АСУТП не имеется реализованных драйверов, требуется расширение библиотеки драйверов плат ввода/вывода на языке C++ для нового оборудования, перекомпиляция и перезапуск ПСОС.

Подсистема контроля и управления технологическим оборудованием состоит из программных модулей управления отдельными объектами технологического оборудования и программ автоматического управления. ПКУТО выполняет команды оператора по управлению отдельными объектами технологического оборудования и программы автоматического управления по согласованному управлению группой объектов технологического оборудования.

При отсутствии возможности выполнения команды (из-за неисправности объекта, блокировки и других причин) ПКУТО посылает сигнальное сообщение о невозможности выполнения команды с указанием диагностики. При наличии возможности выполнения команды ПКУТО посылает команду на исполнительный механизм и устанавливает таймер на время выполнения команды (контрольное время). Если по истечении контрольного времени состояние управляемого объекта не подтверждает факт выполнения команды, ПКУТО «сбрасывает» команду и посылает сигнальное сообщение о невыполнении команды с диагностикой «просрочено время выполнения команды».

Программа ПКУТО на языке C++ автоматически генерируется для каждого контроллера по таблице объектов КБД, содержащей для каждого объекта поля: код, тип объекта и номер контроллера. Программы автоматического управления на языке C++ автоматически генерируются с помощью ПС «Конструктор программ управления», которая будет описана в разд. 2.

В настоящее время АСУТП управляет 200 объектами технологического оборудования и контролирует их, а также обрабатывает более 2500 входных и выходных сигналов. Информация обо всех сигналах и обо всех вычислительных средствах контроллерного уровня находится в КБД.

Для повышения надежности работы программного обеспечения контроллерного уровня на каждом контроллере выполняется служебная программа МПО, которая периодически осуществляет опрос всех программ, исполняющихся на контроллере. Протокол опроса позволяет МПО определить состояние программы (нормальное, заиклилась, неполный комплект процессов и т. д.) и в случае необходимости перезапустить ее с выдачей диагностики.

Операторский уровень предоставляет управляющему и обслуживающему персоналу средства доступа и средства эксплуатации АСУТП в виде автоматизированных рабочих мест. Станциями операторского уровня являются компьютер Pentium III, работающий под ОС Windows2000, и сервер, работающий под управлением операционной системы Solaris8 с использованием системы управления базой данных Oracle. Санкционированный доступ ко всем вычислительным средствам операторского уровня обеспечивает ПС авторизации АСУТП.

Станция оперирования используется для визуализации состояния СМТ и управления технологическим процессом, для чего имеется общая мнемосхема и детальные мнемосхемы отдельных участков. Все мнемосхемы разработаны с помощью собственной ПС «Редактор мнемосхем» (РМ), которая будет описана в разд. 2. Для наблюдения за пространственным распределением значений технологических параметров на экране СО имеется окно, в котором выводятся графики этих значений на протяжении всего тоннеля.

На СО выводится список сигнальных сообщений в хронологическом порядке с указанием степени важности сообщений. Оператор имеет возможность просматривать и квитировать сигнальные сообщения.

Станция инженера обеспечивает визуализацию состояния ПТК, в том числе детальную визуализацию технического состояния аппаратных средств нижнего и контроллерного уровней, а также предоставляет возможность конфигурирования АСУТП с помощью собственного редактора КБД.

Сервер в АСУТП используется для хранения КБД, базы данных значений технологических параметров, архива сигнальных сообщений и связи с удаленными клиентами. Из рис. 1 видно, что при этом сервер не является центральным узлом системы, от которого полностью зависит ее функционирование. Даже если сервер перестает функционировать в штатном режиме, оператор продолжает осуществлять контроль и управление технологическими процессами.

Для обеспечения отказоустойчивости сервер АСУТП реализован в виде кластера из двух узлов Sun E220R. Кластеризацию запускаемых задач осуществляет программное обеспечение Veritas Cluster.

В настоящее время удаленными клиентами в г. Иркутске являются: Управление Восточно-Сибирской железной дороги и Иркутский государственный университет путей сообщения. На количество и местоположение УК нет ограничений. Так как безопасность доступа в систему реализуется средствами ОАО «Российские железные дороги» в рамках корпоративной сети, клиент АСУТП должен быть в этой сети.

Интеграцию подсистем АСУТП, исполняющихся на разных компьютерах, обеспечивает распределенная ПС «Логическая шина данных».

Логическая шина данных. Для независимого создания взаимодействующих ПС АСУТП потребовалось разработать подсистему, которая, используя протокол ТСР/IP, предоставляет разработчику интерфейс высокого уровня

работы с сигналами (функции типа Send, Receive), скрывающий от разработчика технические детали передачи сигналов.

Такая подсистема, называемая логической шиной данных (ЛШД), имеет клиент-серверную архитектуру [1]. На каждом компьютере в сети работает сервер ЛШД (СЛШД), который связывается с СЛШД других компьютеров сети, образуя виртуальное логическое пространство сигналов. Подсистемы АСУТП являются клиентами ЛШД, которые связаны с СЛШД на своем компьютере. Схема распространения сигналов в АСУТП представлена на рис. 2.

Сигнал для ЛШД представляет собой структуру данных, состоящую из служебной и пользовательской частей. Служебная часть имеет фиксированную структуру, основным полем которой является уникальный идентификационный номер ISN (Internal System Number). Размер и структуру пользовательской части сигнала определяет пользователь. Для удобства взаимодействия разработчиков в АСУТП была введена единая унифицированная структура и пользовательской части сигнала.

Статическая информация о каждом сигнале хранится в таблице сигналов КБД. В таблице разработчик заполняет содержательные поля: название сигнала, тип сигнала, данные о датчике и др., а также ключевое поле ISN, которое должно быть целым числом.

Отправитель сигнала вызывает интерфейсную функцию ЛШД, в параметрах которой указывается пользовательская часть сигнала и ISN. Эта функция осуществляет в общем случае широковещательную рассылку сигнала. Получатель сигнала, указав некоторый ISN, может «подписаться» на этот сигнал (группу сигналов) и в дальнейшем получать его текущее значение из виртуального логического пространства сигналов, ничего «не зная» об источнике сигнала. Для оптимизации общей схемы имеется возможность избирательной посылки сигналов между отдельными узлами сети.

Подсистема ЛШД может быть использована для разработки других АСУТП или других распределенных приложений, так как она не накладывает никаких ограничений на пользовательскую часть структуры сигнала и имеет реализацию для различных платформ (Windows, QNX, Solaris).

2. Инструментальные подсистемы АСУТП СМТ предназначены для развития АСУТП сопровождающим персоналом в процессе эксплуатации. Эти ПС запрограммированы на СИ. Результатом работы инструментальных ПС являются служебные файлы, которые в соответствии с определенным регламентом включаются в программное обеспечение АСУТП, расширяя ее функциональные возможности.

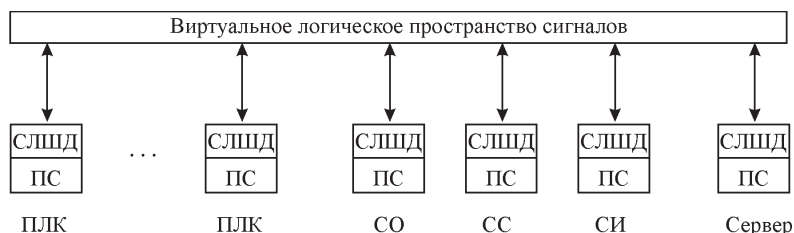


Рис. 2

К инструментальным ПС АСУТП относятся: редактор мнемосхем, генератор отчетов (ГО), конструктор программ управления (КПУ).

Редактор мнемосхем предоставляет набор инструментов, позволяющих создавать мнемосхемы для СО и СИ. Динамические объекты на мнемосхеме (мнемознаки) являются экземплярами шаблонов, находящихся в расширяемой библиотеке шаблонов. Каждый шаблон соответствует определенному типу технологического оборудования или типу аналогового сигнала. Для управляемого оборудования составной частью шаблона является микропульт управления со списком команд.

Подсистема РМ предоставляет пользователю интерактивный визуальный интерфейс в виде системы меню, с помощью которого пользователь может выполнять следующие операции:

- создание новых шаблонов в библиотеке с использованием набора графических примитивов (линия, прямоугольник, заливка, текст и др.);
- создание или редактирование мнемосхемы (рисование статической части мнемосхемы, размещение на мнемосхеме мнемознаков из библиотеки шаблонов);
- задание динамики (указание для мнемознака ISN сигнала, целые значения которого ассоциируются с различными цветами мнемознака).

Генератор отчетов позволяет оператору создавать табличные формы с указанием заголовков столбцов и табличных значений, получаемых по SQL-запросу к базе данных усредненных значений технологических параметров, хранящейся на сервере.

Конструктор программ управления является системой технологического программирования. КПУ предназначен для разработки программ автоматического управления и условий их автоматического запуска на языке C++. Программа автоматического управления представляет собой последовательность команд, выполняемых в определенном порядке. Каждая команда содержит наименование объекта управления и действие, которое требуется выполнить над этим объектом.

Для упрощения выбора объекта управления пользователю предоставляется трехуровневая система меню, позволяющая выбирать местоположение, тип и наименование объекта управления.

Особенностями КПУ являются: генерация распределенной по контроллерам программы автоматического управления, распараллеливание фрагментов программ, исполняющихся на одном контроллере.

Разработанные программы управления хранятся в библиотеке. Иерархические программы управления можно создавать с использованием в качестве подпрограмм уже имеющихся библиотечных программ управления. Листинг программы управления в форме, ориентированной на оператора-технолога, автоматически генерируется в виде Microsoft Word-файла [2].

ПС КПУ предоставляет пользователю интерактивный визуальный интерфейс в виде системы меню для пошаговой разработки программ автоматического управления. КПУ является синтаксически ориентированным редактором, который автоматически генерирует синтаксически-правильные программы автоматического управления на языке C++.

Для отладки программ автоматического управления в АСУТП имеется инструментальный комплекс (ИК), исполняющийся под ОС Windows и включающий основные ПС АСУТП и модели объектов технологического оборудования [3].

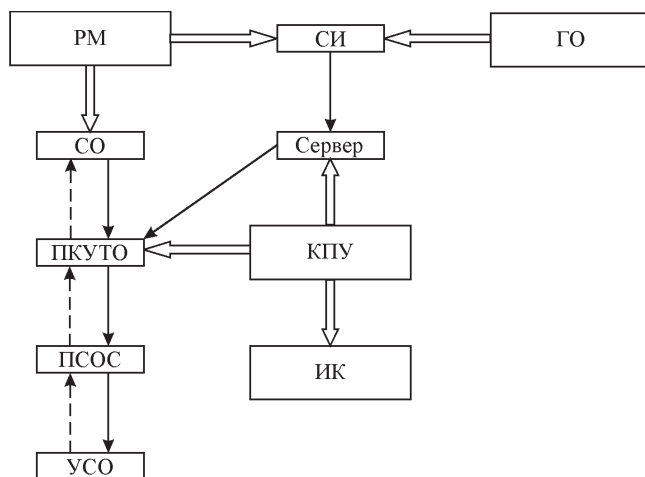


Рис. 3

Настройка КПУ (список объектов управления, иерархия объектов, список действий) на конкретный технологический объект управления (ТОУ) задается текстовым конфигурационным файлом. Таким образом, КПУ может быть использован при разработке других АСУТП.

Использование инструментальных средств в АСУТП СМТ представлено на рис. 3 (штриховая линия – сигналы, сплошная линия – команды, двойная сплошная линия – инструментальные средства).

Для обучения персонала в рамках ИК реализован прототип тренажера, развитие которого ведется на основе подходов к разработке интеллектуальной системы интерактивного обучения [4].

Заключение. Собственное программное обеспечение АСУТП СМТ представляет собой набор подсистем, которые можно разделить на зависимые и независимые от ТОУ СМТ. Зависимые от СМТ подсистемы разработаны либо с помощью инструментальных средств АСУТП, либо запрограммированы на языке C++. Настройка независимых систем для СМТ осуществляется с помощью информации, содержащейся в КБД АСУТП.

Такая реализация позволяет переиспользовать программное обеспечение АСУТП СМТ для построения АСУТП систем, отличающихся большой распределенностью датчиков сигналов, повышенными требованиями к аппаратным средствам сетей передачи данных, находящимся в агрессивной среде, разнообразием типов используемого технологического оборудования (калориферы, вентиляторы, задвижки, заградительная и регулирующая аппаратура). При этом независимые от ТОУ подсистемы переносятся без изменения программ, а зависимые – либо разрабатываются с помощью инструментальных средств АСУТП, либо перепрограммируются.

Данный подход был проверен практически при разработке АСУТП турбокомпрессорной станции СО РАН и АСУТП тепловой станции ТС-1 СО РАН [5] и продемонстрировал существенное сокращение времени разработки этих систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Pishchik B. N., Khundoyev A. A., Shevchenko D. O.** Signal transmission in SCADA system // Proc. of the IASTED Intern. Conf. "Automation, Control and Information Technology" (ACIT-2002). Anaheim – Calgary – Zurich: ACTA Press, 2002. P. 65.
2. **Chernakov D. V., Okol'nishnikov V. V.** Control program development system // Proc. of the Second IASTED Intern. Multi-Conf. "Automation, Control and Information Technology" (ACIT-ACA). Anaheim – Calgary – Zurich: ACTA Press, 2005. P. 142.
3. **Окольнишников В. В.** Использование имитационного моделирования при разработке Автоматизированной системы управления технологическими процессами Северомуйского тоннеля // Вычисл. технологии. 2004. **9**, № 5. С. 82.
4. **Золотухин Ю. Н., Шидло Г. М.** Модель архитектуры интеллектуальной системы интерактивного обучения управлению общевоинским подразделением // Автометрия. 2006. **42**, № 5. С. 83.
5. **Гаркуша В. В., Пищик Б. Н., Михеев В. П., Потатуркин О. И.** Автоматизированная система управления технологическими процессами тепловой станции // Теплофизика и аэромеханика. 2006. **13**, № 2. С. 315.

Поступила в редакцию 18 апреля 2007 г.
