

На правах рукописи

ГЛУХОВ АНТОН ВИКТОРОВИЧ

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ СМ ЭВМ ДЛЯ АСУТП

Специальность 05.13.15 – Вычислительные машины и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2006

Работа выполнена в ОАО «Институт электронных управляющих машин» (ОАО «ИНЭУМ»), г. Москва.

Научные руководители: канд. техн. наук, профессор  
Красовский В.Е., ОАО «ИНЭУМ»;  
докт. физ.-мат. наук, профессор  
Павловский В.Е., Ин-т прикладной математики РАН.

Официальные оппоненты: докт. техн. наук, профессор  
Храмешин Г.К.  
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
Родионов В.В.

Ведущая организация: Институт точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева.

Защита состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2006 г. в \_\_\_\_\_ часов  
на заседании диссертационного совета К 409.009.01  
при Институте электронных управляющих машин по адресу:  
119334, г. Москва, ул. Вавилова, д.24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2006 г.

И.о. ученого секретаря диссертационного совета

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Фукс В.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Автоматизация промышленного производства – одна из важнейших задач настоящего времени. Технической базой для построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) в России в течение многих лет являются программно-технические комплексы (ПТК) СМ ЭВМ, разрабатываемые в ИНЭУМ.

СМ ЭВМ – это комплекс технических средств, включающий в себя ряд процессоров различной производительности, устройства оперативной и внешней памяти, набор устройств связи с объектом (УСО), устройств отображения информации, операционных систем, прикладных программных пакетов и т.п., обеспечивающий возможность создания многоуровневых АСУТП в различных отраслях промышленности. ПТК СМ ЭВМ применяются на предприятиях энергетики, металлургии, транспорта, химии, машиностроения.

Создание ПТК для решения конкретной задачи автоматизации является сложным и неоднозначным процессом, имеющим множество альтернатив. Множество требований, предъявляемых к проектируемому ПТК, требует научно-обоснованной методики оценки и выбора характеристик технических и программных компонентов комплекса: интерфейса, конструкции, номенклатуры модулей и устройств, их характеристик, состава системного программного обеспечения, тестов, требований к программному обеспечению человеко-машинного интерфейса.

Специфика состоит в том, что разработчик во многих случаях должен учитывать нечеткую, качественную исходную информацию, исходящую от эксперта. Эта ситуация создает трудности при поиске эффективных технических решений, приводит к дополнительным временным и финансовым затратам.

В этой связи разработка методики, позволяющей формализовать проектирование ПТК СМ ЭВМ при использовании неполной и экспертной информации является важной и актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является разработка методики проектирования программно-технических комплексов СМ ЭВМ для

автоматизированных систем управления технологическими процессами и ее апробация.

В связи с поставленной целью работа предполагает решение следующих основных задач:

- Анализ современных методических и инструментальных средств разработки ПТК.

- Определение перспективных технологий и технических принципов проектирования ПТК СМ ЭВМ для АСУТП.

- Разработка методики проектирования ПТК СМ ЭВМ, основанной на использовании неполной и экспертной исходной информации.

- Разработка ПТК СМ1820М для ряда конкретных подсистем АСУТП и апробация предлагаемой методики.

Методы исследований. В основе исследований, выполненных в диссертационной работе, лежит теория нечетких множеств, методы проектирования средств вычислительной техники и технологии обработки информации.

Научная новизна заключается в решении ряда новых вопросов, связанных с проектированием ПТК для АСУТП:

- Разработана методика проектирования ПТК СМ ЭВМ с использованием математического аппарата нечетких множеств.

- Предложены функции принадлежности, формализующие экспертные оценки при выборе состава ПТК.

- Усовершенствованы инструментальные средства разработки ПТК: предложен и разработан специальный механизм обмена данными между SCADA-системой и промышленными контроллерами.

Практическая реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы получены в Институте электронных управляющих машин в рамках Федеральной целевой программы «Национальная технологическая база» по теме «Разработка семейства многофункциональных промышленных контроллеров и УВК промышленного исполнения».

Разработанные автором методики и технические решения применены в следующих проектах:

- В автоматизированной системе контроля и управления Тяньваньской АЭС (КНР) не имеющей аналогов на российских атомных станциях.
- В автоматизированной системе контроля и управления процессом получения водорода для Объединенного института высоких температур РАН.

Практическая реализация результатов работы подтверждается прилагаемыми к диссертации документами.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- Научных семинарах и технических совещаниях Института электронных управляющих машин в период 2003 – 2006 гг.
- 54-й научно-технической конференции Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технического университета), май 2005 г.
- Научной сессии МИФИ-2006 на секции «Компьютерные системы и технологии», январь 2006 г.

Разработки демонстрировались на выставках:

- Softool 2004.
- «Электроника и транспорт 2006».
- «Высокие технологии XXI века», 2006 г.
- Softool 2006.

Публикации. Результаты диссертации отражены в 7 печатных работах: опубликовано 5 статей, 3 из которых в журналах, рекомендуемых ВАК; тезисы научного доклада; получен патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и приложений. Работа содержит 181 страницу, включая 33 рисунка. Список цитированной литературы включает 55 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, приведена общая характеристика работы.

В первой главе дан анализ разработок программно-технических комплексов для АСУТП. Основное внимание уделено принципам построения программно-технических комплексов СМ ЭВМ – наиболее массовых отечественных ПТК, разрабатываемых в ИНЭУМ в течение трех десятилетий.

С середины 70-х годов две международные системы – СМ ЭВМ и ЕС ЭВМ стали технической базой информатизации и автоматизации управления во всех сферах народного хозяйства страны.

Среди СМ ЭВМ наибольшее распространение получили представители семейства СМ1800 – модели СМ1803, СМ1804, СМ1810, СМ1814. Функционально-модульный принцип построения обеспечил универсальность этих моделей для применений в различных областях народного хозяйства. Открытая архитектура семейства СМ1800 позволяла разрабатывать и вводить в состав новые функциональные модули и устройства, соблюдая при этом соответствующие нормативы на конструкцию и интерфейс.

Дальнейшее развитие семейства СМ1800 определялось двумя основными факторами – появлением 32-разрядных микропроцессоров, в частности микропроцессора Intel 80386, и стремительным распространением персональных компьютеров. Персональный компьютер (ПК) стал одним из наиболее тиражируемых в мире продуктов промышленного производства. Главным достоинством ПК, предопределившим его феноменально быстрое распространение было дружественное по отношению к пользователю программное обеспечение, создававшее чрезвычайно комфортную рабочую среду. Совершенно естественным было общее желание использовать ПК в составе систем управления технологическими процессами. Появились многочисленные платы расширения, позволявшие осуществить сопряжение ПК с объектом управления. В процессе использования ПК в системах управления стало ясно, что ПК изначально проектировался как офисное устройство, не рассчитанное на работу в условиях промышленных сред, на круглосуточную эксплуатацию. ПК не был достаточно устойчив к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды, не обеспечивал надежного функционирования, созданных на его основе систем управления.

В ИНЭУМ был выполнен ряд разработок, целью которых было создание управляющих компьютеров, совместимых по программному обеспечению с ПК типа IBM PC и базирующихся на конструктивных и схемотехнических решениях СМ1810, а также позволявших частично использовать уже существующие модули и устройства. Эти работы послужили переходом к принципиально новой модели - СМ1820. Технические и программные средства модели СМ1820М позволяют создавать разнообразные программно-технические комплексы, ориентированные на решение широкого круга задач управления технологическими процессами.

В данный момент на рынке присутствует множество вариантов для компоновки ПТК различных производителей с различными функциональными возможностями. Среди ярких представителей на рынке контроллеров и машин верхнего уровня выступают такие организации, как Siemens, Advantech, PEP Modular Computers, РТСофт и т.д.

Продукция этих фирм охватывает большую часть потребностей промышленности по автоматизации. Они имеют множество различных исполнений от миниатюрных контроллеров для развертывания распределенных систем управления до крупных комплексов для централизованных систем.

Продукция семейства СМ ЭВМ также покрывает большую часть потребностей промышленности и является конкурентоспособной на современном рынке и по функциональным возможностям и по цене.

На основе проведенного анализа сформулированы основные принципы создания современных ПТК СМ ЭВМ, обеспечивающие возможности эффективного построения многоуровневых АСУ:

- масштабируемость, гибкость и функциональная полнота при использовании однородных аппаратно-программных средств;
- открытость при применении стандартизованных в международном масштабе аппаратных и программных интерфейсов;
- стандартизованность связующего звена между пользовательскими программами производственного и диспетчер-

ского назначения и различными компонентами систем автоматизации (например, стандарт OPC);

- хранение всех данных о конфигурации системы и архивных данных в распределенной (резервируемой) реляционной БД;
- дистанционное управление в АСУ (через Internet, телекоммуникации и т.п.);
- модульность и повышенная надежность на основе единой качественной элементной и конструктивной базы, а также методов селективной отказоустойчивости и резервирования;
- приоритетное использование отечественных электронных и программных компонентов.

Далее анализируются современные методики и технологии разработки ПТК.

Отмечены существующие методы выбора состава компонентов при проектировании программно-технических комплексов: метод анализа иерархий, метод Дельфи, метод бинарных отношений, метод структурно-компоновочного вектора (СКВ) и др. СКВ-метод, основанный на теории нечетких множеств, разработан в ИНЭУМ и отработывался на первых моделях семейства СМ1800 при выборе вычислительного ядра, внутреннего интерфейса, функциональных модулей, интерфейсов связи с периферией, конструкций и т.д. В этой связи математический аппарат нечетких множеств принят автором за теоретическую основу при совершенствовании методики проектирования современных ПТК СМ ЭВМ.

Рассматриваются подходы к выбору SCADA-системы, как одного из основных компонентов программного обеспечения ПТК и современной инструментальной системы разработки АСУТП.

Выбор наиболее приемлемой SCADA-системы представляет собой сложную многокритериальную задачу, решением которой является компромисс между надежностью, стоимостью, техническим уровнем, полнотой программного обеспечения, комфортностью, затратами на сервисное обслуживание и т. д.

В большинстве SCADA-систем присутствуют известные базовые свойства, но технологии и средства их реализации достаточно

сильно различаются. Именно мера реализации каждого свойства в SCADA-системе определяет необходимость в разработке дополнительного программного обеспечения (новые драйверы ввода-вывода, графические объекты; функции, расширяющие список базовых функций, встроенные библиотеки).

При выборе SCADA-системы необходимо идти от задачи, так как она во многом будет определять дальнейшее решение. Построение АСУ ТП на основе любой SCADA-систем резко сокращает набор необходимых знаний в области классического программирования, позволяя концентрировать усилия по освоению знаний в прикладной области.

По результатам проведенного анализа различных SCADA-систем (Trace Mode, Genesis, In Touch, WinCC) для задач, решаемых ПТК CM1820M, сделан выбор в пользу SCADA-системы WinCC фирмы Siemens.

Вторая глава посвящена проектированию структур ПТК с использованием математического аппарата нечетких множеств.

Идея использования нечетких множеств при проектировании структур ПТК основана на том, что практически всегда в инженерной практике нельзя строго описать предпочтение выбора какого-то из вариантов, т.к. этот выбор зависит от очень большого числа трудно учитываемых и плохо формализуемых факторов. Но в противоположность этому можно описать нестрогие предпочтения, математической моделью которых являются нечеткие множества.

Предлагается формальный метод проектирования структур ПТК на основе модифицированного ВСТ-СКВ-метода, реализованного в базисе нечетких множеств.

Метод вводит в рассмотрение два основных понятия - структурно-компоновочный вектор (СКВ) и вектор системных требований (ВСТ). Первый из них представляет собой набор признаков, определяющих выбранную структуру микроЭВМ - интерфейсы, элементную базу, конструкцию, взаимосвязь элементов и блоков, схемотехнические решения. Задача разработчика состоит в задании множества СКВ, из которого могут быть выбраны структуры, наиболее близкие к требуемым, с наперед заданными характеристика-

ми. ВСТ трактуется, как вектор, описывающий набор признаков, характеризующий конкретный выбор структуры согласно СКВ.

Формально вводится следующая схема, модифицирующая метод.

Пусть рассматривается некоторый проект  $S$ , структурно-компоновочный состав которого необходимо выбрать, притом оптимальным образом в смысле экспертных оценок значимости его элементов. Элементы  $S$  образуют вектор СКВ.

Пусть СКВ есть вектор

$$s = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_N\}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

у которого каждая компонента представляет одну из структурных компонент, входящих в данный проект  $S$ , – процессор и его тип, интерфейсы, УСО, компоненты программного обеспечения, и т.д.

Каждая компонента вектора  $s$  характеризуется нечеткой функцией принадлежности

$$m_i: [0,1] \rightarrow [0,1], i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

заданной на отрезке  $[0,1]$  (носителе), неотрицательной, и отображающей носитель также в отрезок  $[0,1]$ . Функции  $m_i$  формально описывают экспертную оценку (оценки) значимости (предпочтения) использования  $i$ -ой компоненты в проекте  $S$ .

Далее делается предположение, что функции  $m_i$  с достаточной точностью могут быть представлены кусочно-линейными функциями с  $k$  звеньями, такое представление обозначается следующим образом:

$$m_i = \{m_i^j\}, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, k+1, \quad (3)$$

где  $m_i^j$  – узлы, задающие кусочно-линейную функцию (ломаную).

Вводится вектор  $t$ , представляющий собой ВСТ:

$$t = \{t_i\}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где компоненты  $t_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  представляют собой конкретные состояния доли включения или использования соответствующей компоненты  $s$  (реализации включений) по компонентам компоновочного вектора СКВ  $s$  (1). Значения функций принадлежности от этих компонент

$$p_i = m_i(t_i), i = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

представляют значения реальных долей использования компонент СКВ в данном проекте  $S$ .

Все  $p_i$  представляют в совокупности общее предпочтение всего проекта  $S$ , согласованное с данным компоновочным вектором  $s$  (1). Это предпочтение характеризуется общей для проекта функцией принадлежности, для которой выбирается мультипликативная форма:

$$n_i = \prod_l m_i^l(t_i), i = 1, 2, \dots, N, l = 1, 2, \dots, L \quad (6)$$

где  $L$  – общее число вариантов компоновок в проекте  $S$ .

Оптимальной считается такая компоновка проекта  $S$ , т.е. такой оптимальный СКВ  $s$ , когда соответствующее значение мультипликативной функции принадлежности (6) максимально:

$$n_i \rightarrow \max \forall l = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

Для решения задачи (7) необходимо вычислить все значения мультипликативной функции (6) – по всем СКВ, составляющим варианты компоновки проекта  $S$ , затем найти максимальное. Соответствующий ему СКВ будет оптимальным решением, т.е. определит оптимальную структуру и ее состав.

Описанное решение реализовано в виде интерактивной оптимизационной программы в среде табличного процессора EXCEL.

Оболочка реализована как многолистная таблица. Примеры ее интерфейсов приведены на рис. 1 и 2.

На рис.1 показан интерактивный лист программы, в котором задаются векторы системных требований.

На рис. 2 приведен диалоговый лист программы, в котором задаются функции принадлежности для компонент СКВ.

С использованием предлагаемого метода выполнен выбор компонентов программно-технических комплексов «Система общестанционного мониторинга Тяньваньской АЭС» и «Автоматизированная система контроля и управления процессом получения Водорода» на базе СМ1820М.

Важным моментом здесь является построение функций принадлежности для оценочных критериев, выраженных нечетким множеством. Они построены методом экспертных оценок.

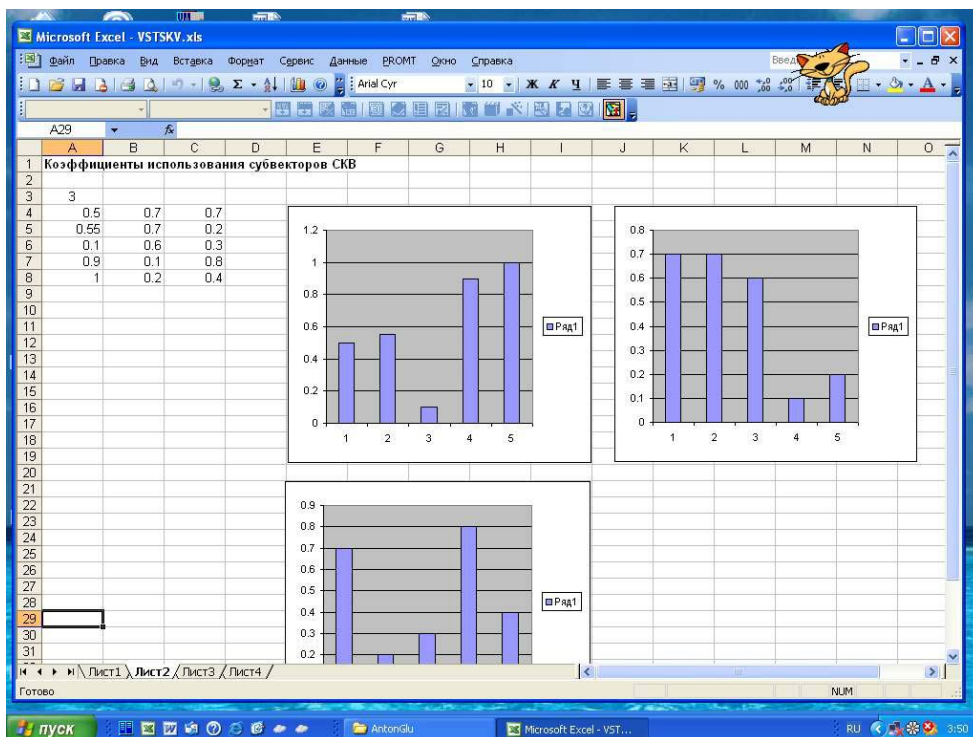


Рис. 1. Интерфейс программы

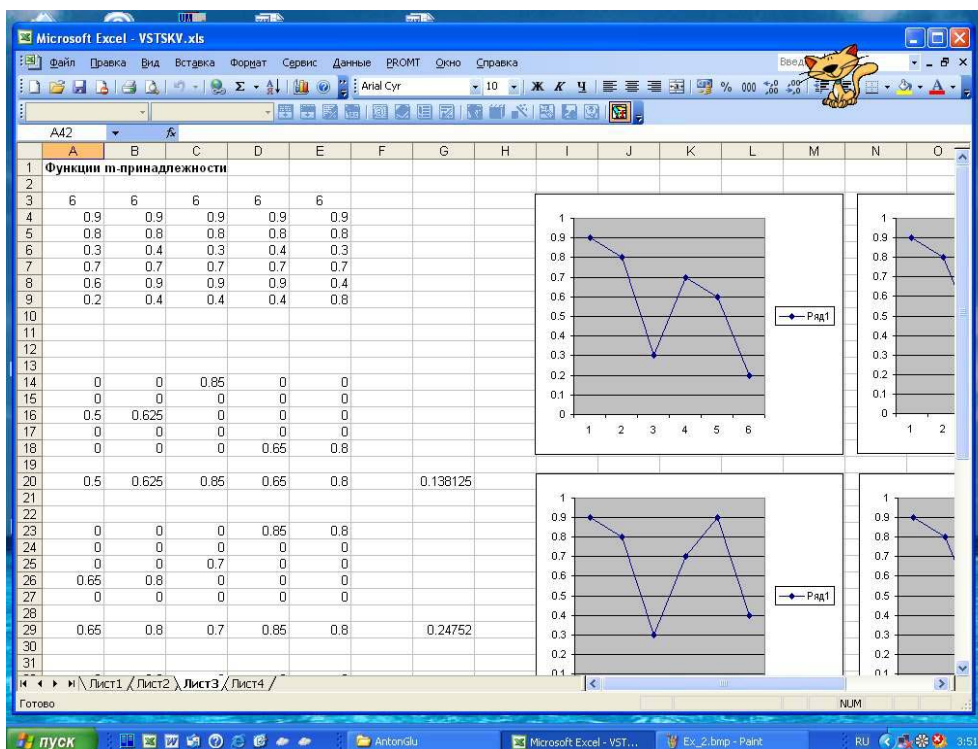


Рис. 2. Интерфейс программы

Так, выбор процессорного модуля осуществляется исходя из требований к надежности работы системы, производительности процессора и поддержки необходимого набора интерфейсов для ор-

ганизации надежного канала связи с верхним уровнем с достаточной производительностью.

Предложены функции принадлежности процессоров СМ1820.МПЗ, Octagon 6225, Fastwell CPU686Е для соотношений производительность/сложность задачи, цена/сложность задачи и др.

Рассмотрен выбор физических протоколов обмена данными между контроллерами и системами верхнего уровня. Предложены графики функций принадлежности для протоколов RS-232, RS-485 и Ethernet в зависимости от сложности задачи.

Предложены также функции принадлежности для оценочных критериев по соотношению стоимость реализации протокола к сложности задачи и др.

Аналогичным образом рассмотрен выбор модулей УСО, а также варианты организации обмена данными между SCADA-системой и контроллерами и др.

В третьей главе рассматриваются примеры практического применения программно-технических комплексов СМ ЭВМ в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Состав ПТК с учетом решаемых задач формировался на основе математического аппарата нечетких множеств (см. гл. 2).

ОАО «Институт электронных управляющих машин», продолжает начатые четверть века тому назад работы по созданию управляющих вычислительных комплексов семейства СМ1800. В настоящее время разработан, при участии автора, и находится в серийном производстве широкий спектр технических и программных средств модели СМ1820М, относящихся к четвертому поколению семейства СМ1800.

СМ1820М – функционально-полный комплекс технических и программных средств (КТС), построенный на современной элементно-конструктивной базе и передовых структурных решениях, обеспечивает возможность создания многоуровневых автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности.

В составе КТС СМ1820М имеются три класса устройств, выполняющих определенные функции в иерархической системе:

- промышленные контроллеры CM1820M КП и CM1820M КПМ для построения удаленных и распределенных систем;
- комплексы нижнего уровня CM1820МНУ для систем с концентрированным размещением датчиков и исполнительных механизмов;
- комплексы верхнего уровня CM1820МВУ для построения рабочего места оператора-технолога (PMOT) и серверов.

В каждом классе разработано несколько типов устройств и в зависимости от требований реализуемая система может комплектоваться и поставляться «под заказ».

На основе комплекса технических средств CM1820M реализованы проекты автоматизации сложных объектов, рассмотренные ниже.

Рассмотрены вопросы использования и развития SCADA-технологий в АСУТП на базе CM1820M. Как показано в гл. 1, современным инструментом разработки АСУТП являются SCADA-технологии (SCADA-системы). Применение этих систем предоставляет разработчику и пользователю множество преимуществ. Меньше усилий вкладывается в разработку мнемосхем, обеспечение их динамичности, на ведение архивов и отслеживание аварий. Это сильно упрощает рутинную работу, занимающую значительное время. Кроме того, при грамотно построенной структуре SCADA-системы, наработанные материалы легко переносятся из одного проекта в другой.

Направление, связанное с использованием SCADA WinCC активно развивается в ИНЭУМ. Автором выполнен ряд доработок, в основном касающихся модулей сопряжения самой системы с контроллерами, т.е. с нижним уровнем, и с другими источниками данных. По мере увеличения количества таких модулей возникла необходимость привести их к одному стандарту и как-то структурировать. Для этого можно было воспользоваться технологией OPC, которая реализована в WinCC. Однако, аппарат OPC достаточно громоздок и сложен. В целях упрощения операции обмена данными между станцией оператора и контроллерами была создана служба

поставщика данных для WinCC – DRS (Data Receive Service) (рис. 3).

Эта служба обеспечивает двухсторонний обмен данными между WinCC и нижним уровнем. Выполнена она в виде "сервиса" Windows и работает в фоновом режиме. Она обладает следующими преимуществами:

- драйверы устройств выполняются в виде отдельных, динамически подключаемых библиотек (имеющих, определенный набор вызовов), которые могут быть подключены к системе без остановки службы и без перезагрузок;

- служба может являться поставщиком данных для других таких же служб, находящихся в общей сети, что позволяет, имея одно физическое подключение к контроллеру, получать с него информацию на несколько серверов практически одновременно;

- данные могут быть подвергнуты первичной простейшей обработке непосредственно внутри службы еще до того, как они попадут в SCADA-систему, что сильно ускорит процесс в одних случаях и снимает лишнюю нагрузку на SCADA-систему в других случаях;

- обеспечена легкая настройка службы через базу данных. Это позволяет быстро сконфигурировать систему для работы с новым объектом, что сильно экономит время разработки;

- связь службы со стандартными журналами сообщений Windows позволяет администраторам вовремя отслеживать неполадки в системе, а мощная система ведения локального журнала дает полную информацию как о неполадках, так и о внешних проникновениях и нарушениях;

- наличие терминального модуля службы позволяет вести перенастройку системы динамически с любого компьютера сети через стандартную программу Telnet;

- служба содержит в себе небольшую локальную базу данных обрабатываемых сигналов, что позволяет идентифицировать вышедшее из строя оборудование (если это предусмотрено в контроллере) и предоставить данную информацию в стандартном виде SCADA-системе.

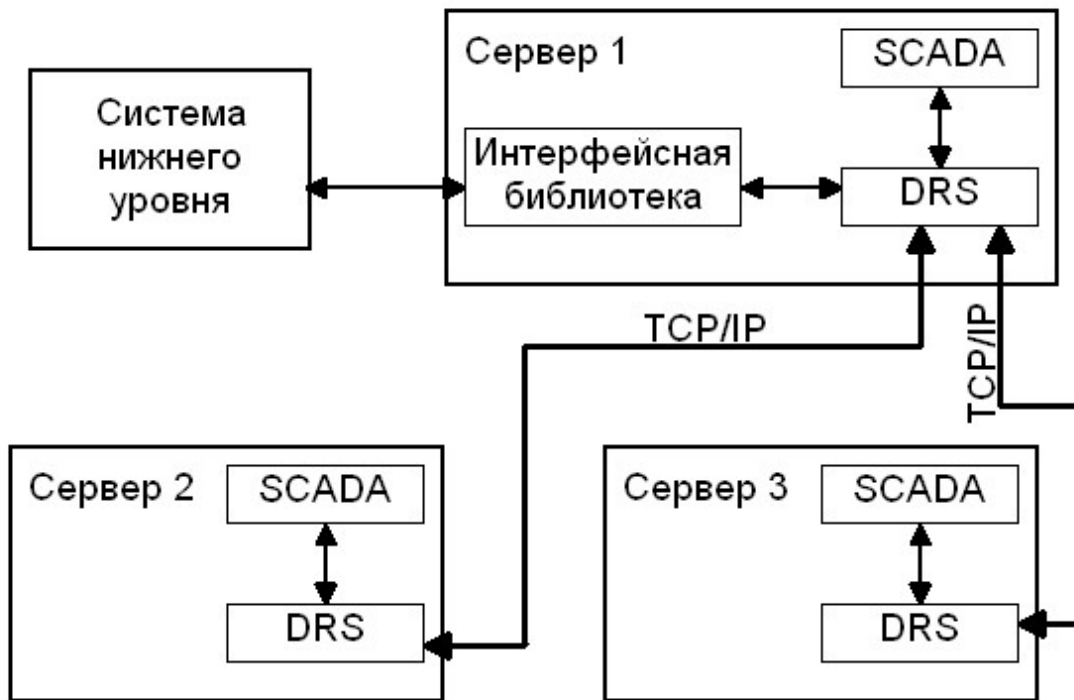


Рис. 3. Структура службы DRS

Разработанная автором служба DRS является универсальным инструментом, шлюзом, для предоставления данных системе WinCC. Все оборудование нижнего уровня может быть подключено к ней, и данные будут предоставляться в систему в одном, принятом за основу, формате. Такой подход позволяет еще больше ускорить создание новых систем управления, т.к. построение структуры данных - один из ключевых вопросов в начале работы над новым проектом. Этот же вариант предлагает уже разработанный подход и его реализация оказывается гораздо менее трудоемкой.

WinCC не является обязательной. Она может быть заменена на любую SCADA-систему, которая имеет какой-либо интерфейс для работы с внешними приложениями.

Технология использования описанного выше сервиса была применена на нескольких объектах. Среди них Тяньваньская АЭС (Китай) (рис. 4), где с помощью данной службы была обеспечена связь между SCADA-системой WinCC и системой контроля и управления OM-690, которая является базовым решением фирмы Siemens в атомной энергетике. И при всей сложности пути, который

проходит сигнал от источника и до монитора на пульте оператора (при данной конфигурации), достигалось время реакции около 1-3 с.

Другим, более высокоскоростным применением такой структуры, была автоматизация установки по производству водорода. Учитывая высокую взрывоопасность получаемого вещества, а также особенности проведения химической реакции (наличие реактора высокого давления), необходимо было обеспечить высокое быстродействие системы, что и было достигнуто. Время реакции данной системы было 300 - 500 мс на верхнем уровне и менее 30 мс на нижнем уровне (непосредственно в контроллере).

Рассмотрена автоматизированная система контроля и управления Тяньваньской АЭС (КНР).

На базе ПТК SM1820MBU, при участии автора (предложен состав ПТК и разработана служба обмена данными DRS), реализованы две системы для Тяньваньской АЭС в Китае: Система химического мониторинга (СХМ) и Рабочее место начальника смены станции под общим названием Технические средства общестанционного мониторинга (ТСОМ).

СХМ предназначается для сбора, обработки и отображения данных химико-технологического контроля внутриконтурных процессов и состояния систем поддержания водно-химического режима. ТСОМ предназначается для сбора, обработки и отображения оперативной информации о состоянии технологического процесса АЭС и аварийной сигнализации.

ПТК SM1820MBU используется в качестве серверов, интегрируется в общестанционную сеть и работают с оборудованием нижнего уровня фирмы Siemens через специальный шлюз (устройство XU). Состав ПТК определяется с использованием метода нечетких множеств.

На серверах установлена SCADA-система WinCC, осуществляющая прием данных от систем нижнего уровня, их обработку, архивацию, анализ, выдачу аварийных сообщений и предупреждений, генерацию и печать отчетов, выдачу информации для клиентов, обеспечение системы резервирования. Работа сервера с устройством XU осуществляется через специально разработанную службу

DRS, обеспечивающую сбор, первичную обработку и передачу информации.

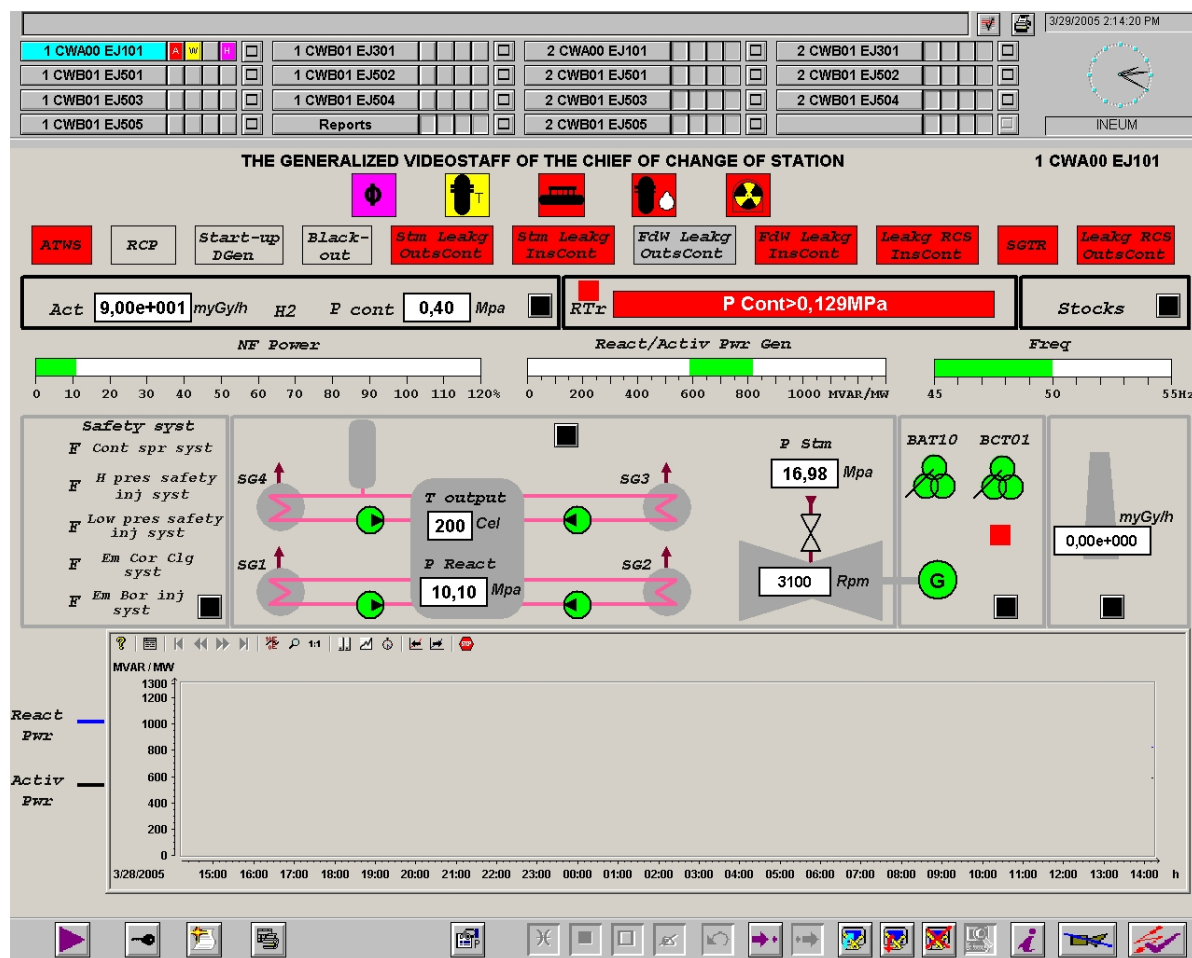


Рис. 4. Видеокадр начальника смены станции (НСС)  
Тяньваньской АЭС

Отметим, что многоуровневая система контроля и управления, созданная в сотрудничестве с фирмой Сименс не имеет аналогов на российских атомных станциях. Впервые в отечественной практике обеспечено сквозное цифровое управление и контроль за работой станции от рабочего места оператора до рабочего места начальника смены станции. Впервые обеспечена автоматизированная обработка показателей водно-химического режима, поступающих по линиям связи от датчиков и вводимых вручную лаборантами. Обеспечена связь фрагментарных задач в общестанционную сеть.

Рассмотрена автоматизированная система контроля и управления процессом получения водорода (АСКУ «Водород»), разработанная автором и защищенная патентом. Суть процесса заключается

в следующем. Из мелкодисперсного алюминия размером частиц не более 20 мкм готовят суспензию порошкообразного алюминия в воде при соотношении  $\text{Al}:\text{H}_2\text{O}=1:4-16$  масс. ч. Суспензию непрерывно подают в реактор высокого давления, где распыляют при диаметре капель не более 100 мкм в воду при температуре 220-900°C и давлении 20-40 МПа, при соотношении суспензии к воде 1:50-100 масс. ч. Из реактора парогаз подают в конденсатор, где водород отделяют от паров воды. Гидроксид алюминия или оксид алюминия поступают в отстойник для суспензии.

Необходимые диапазоны давления и температуры в реакторе при данном способе поддерживаются за счет непрерывного отвода парогаса и суспензии гидроксида алюминия. Эта поддержка представляет собой серьезную техническую задачу, поскольку соотношение между давлением, температурой и массой отводимых парогаса и суспензии гидроксида алюминия определяется достаточно сложной формулой, учитывающей парциальные давления насыщенного водяного пара и водорода, массу вводимого алюминия, температуру в реакторе, свободный объем реактора.

Особенностью предложенного автором устройства является то, что оно содержит управляющий контроллер, регулирующий определенным образом подачу суспензии мелкодисперсного порошкообразного алюминия в воду. Изобретение позволяет увеличить стабильность работы реактора при гарантированном получении выходных продуктов заданных типов и чистоты.

АСКУ построена построен на базе контроллера CM1820МКП2. Контроллер выполнен на базе процессора Fastwell CPU686E в формате MicroPC. Имеет в своем составе модули аналогового ввода для термопар и датчиков давления, а также модули дискретного ввода и модули дискретного вывода, для выдачи команд на исполнительные механизмы (клапаны, двигатели, насосы). Контроллер работает под управлением операционной системы Linux и выполняет несколько функций: управление процессом в автоматическом режиме, трансляцию команд управления с машин верхнего уровня, автоматическое срабатывание систем аварийной защиты в любых режимах работы, передача измеренных параметров на машину верхнего уровня, накапливание локальных архивов с большим временным разреше-

нием по ряду особо важных технологических параметров. Контроллер имеет интерфейс для связи с машиной верхнего уровня – Ethernet и работает в режиме сервера.

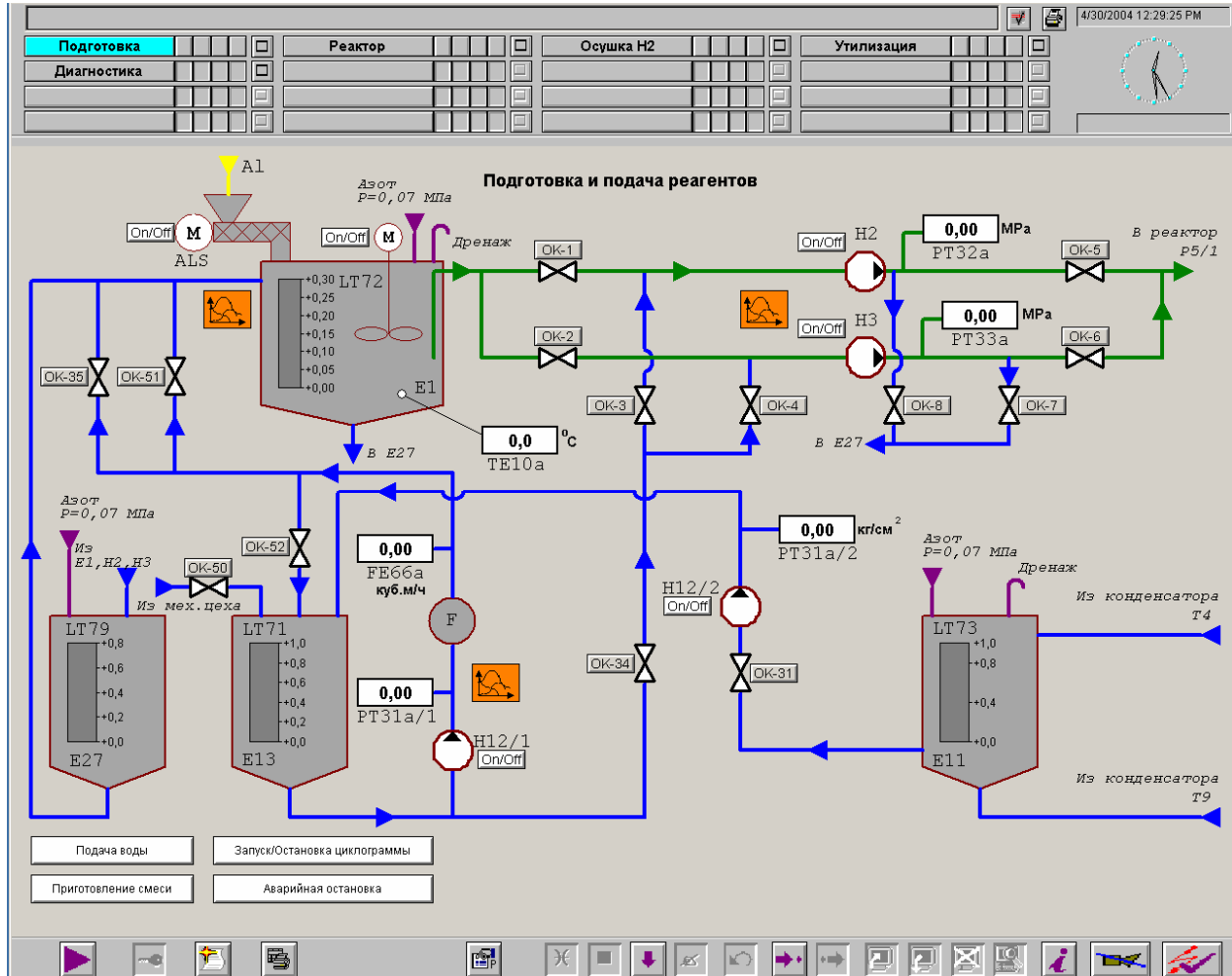


Рис. 5. Видеокادر «Подготовка и подача реагентов», где обозначено: ОК – клапан, Е – емкость, Н – насос, Р – реактор, ТЕ – датчик температуры, РТ – датчик давления, ЛТ – датчик уровня, М – электродвигатель, F – расходомер.

Машина верхнего уровня CM1820M построена в формате CompactPCI. Работает под управлением ОС Windows2000 Server. Управление процессом осуществляется с помощью SCADA системы WinCC 5.1. Система отображает текущее состояние процесса на мнемосхемах, имеет элементы для ручного управления процессом в виде кнопок около изображений исполнительных механизмов. В состав системы также входит архивирование значений процесса с удобным интерфейсом для просмотра архивной информации в виде

таблиц и графиков. Кроме того, в состав системы входит развитая система сообщений, предназначенная для ведения журналов о действиях оператора, а также для отображения и ведения архивов по аварийным ситуациям и по переключению арматуры. Один из видеокадров, представленных оператору, приведен на рис. 5.

Информационная связь между контроллером и SCADA-системой осуществляется через рассмотренную выше, специально разработанную автором универсальную службу DRS-Service, обеспечивающую связь систем нижнего уровня со SCADA-системой WinCC.

АСКУ «Водород» разрабатывалась и внедрялась на объектах с 2003 года и продолжает внедряться в настоящее время. В частности, одна из установок была автоматизирована для Института высоких температур РАН (ИВТАН). Назначение установки - исследование в области оптимальных алгоритмов получения водорода для дальнейшего использования в качестве источника энергии.

В приложении приведены документы внедрения диссертационной работы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В итоге проведенных исследований и разработок, направленных на совершенствование программно-технических комплексов СМ ЭВМ для автоматизированных систем управления технологическими процессами, получены следующие основные результаты:

1. Определены на основе анализа современного состояния и тенденций развития программно-технических комплексов общие подходы и технические принципы в проектировании ПТК СМ ЭВМ для АСУТП, которые положены в основу разработки нового поколения технических и программных средств СМ1820М, отвечающих требованиям эффективной системной интеграции в многоуровневых распределенных системах управления.
2. Разработана методика проектирования программно-технических комплексов СМ ЭВМ с использованием математического аппарата нечетких множеств. Предложены функции принадлежности, формализующие экспертные оценки при вы-

- боре процессорного модуля, УСО, протоколов обмена данными и т.д. Методика позволяет формализовать проектирование ПТК в условиях неполной и экспертной информации и принимать обоснованные решения при компоновке ПТК.
3. Усовершенствованы инструментальные средства разработки: механизм двустороннего обмена данными между SCADA-системой и оборудованием нижнего уровня. Предложена и разработана специальная служба поставщика данных DRS, являющаяся универсальным инструментом, обеспечивающим сбор, первичную обработку и передачу информации, и упрощающая, в сравнении с технологией OPC, операции обмена данными между SCADA-системой и промышленными контроллерами.
  4. Разработан с использованием предлагаемой методики проектирования ПТК ряд подсистем АСУТП на базе программно-технических комплексов СМ1820М: АСКУ технологическим процессом получения водорода и АСКУ общестанционного мониторинга атомной электростанции. АСКУ АЭС не имеет аналогов на российских атомных станциях; впервые в отечественной практике обеспечено сквозное многоуровневое цифровое управление и контроль АЭС.
  5. Проведена апробация предлагаемой методики проектирования ПТК при эксплуатации ПТК в подсистемах АСУТП, показавшая и подтвердившая адекватность методики, позволяющей принимать рациональные решения при выборе состава ПТК: вычислительного ядра, функциональных модулей и т.п.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Глухов А.В. Использование SCADA-технологий в АСУТП на базе ПТК СМ1820М. Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВМ, вып. 2, 2005.
2. Многоуровневые управляющие системы на базе комплекса технических средств СМ1820М. И.И. Бабанов, А.В. Глухов, В.Е. Красовский и др. Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВМ, вып. 2, 2005.

3. Глухов А.В. Автоматизированная система контроля и управления процессом получения водорода. Научная сессия МИФИ-2006. Сборник научных трудов, т.12. Компьютерные системы и технологии. М.:МИФИ, 2006.
4. Новый комплекс технических и программных средств СМ1820М для АСУТП. Н.Л. Прохоров, А.В. Глухов, В.Е. Красовский и др. Приборы, №3, 2006.
5. Глухов А.В. АСКУ «Водород» на базе комплекса технических средств СМ1820М. КИП и автоматика: обслуживание и ремонт, №6, 2006.
6. Способ получения гидроксидов или оксидов алюминия и водорода и устройство для его осуществления. А.В. Берш, Ю.Л.Иванов, Ю.А. Мазалов, А.В. Глухов и др. Патент на изобретение №2278077.
7. Павловский В.Е., Глухов А.В. Методика и технология разработки программно-технических комплексов СМ ЭВМ для АСУТП. Препринт №67, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, окт. 2006 г.