

# Автоматизированная система управления технологическим процессом термической обработки

Виктор Горин, Валерий Ярошевский, Виктор Кондратьев, Александр Санкин,  
Вячеслав Артюхин, Олег Загорец, Людмила Петрова

В работе описана двухуровневая автоматизированная система управления установкой термической обработки изделий.

## Общая характеристика объекта и системы управления

Автоматизированная система управления технологическим процессом термической обработки (АСУ ТП «Электротерм») включает:

- объект управления — установку термической обработки изделий, в которую входят реактор, источник силового электропитания (ИСП) регулируемой мощности, устройство перемещения термопары (УПТ) с блоком цифровой индикации (БЦИ), электроприводы отдельных элементов и трубопроводы;
- измерительно-управляющую часть (систему), в которую входят датчики, преобразователи, исполнительные устройства с электромагнитными и электромеханическими приводами, щиты (щит электропитания — ЩЭП, щит функциональных блоков — ЩФБ, щит местного управления — ЩМУ), основной пульт управления (ОПУ), микропроцессорный кон-



Участок печей для термической обработки изделий

троллер (МПК) и офисный персональный компьютер (ПК). МПК на базе промышленной MicroPC с УСО и соответствующим программным обеспечением образуют программно-технический комплекс (ПТК), а на базе ПК и ОПУ организовано автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора-технолога установки.

Технологический процесс (ТП) осуществляется в одном реакторном агрегате (печи) с отходящими дверями, расположенном на металлической раме-основании и установленном в закрытом помещении. На этой же раме и агрегате смонтированы вспомогательные узлы,



Рис. 1. Общий вид установки термической обработки изделий

датчики, регулирующая и отсечная арматура, электродвигатели привода дверей реактора и вакуум-насоса, устройство перемещения термопары. Реакторный агрегат шинами связан с источни-



Рис. 2. Мнемосхема установки термической обработки изделий

ком электрического силового питания (тиристорным преобразователем), установленным обособленно, в соседнем помещении. Общий вид установки показан на рис. 1, а ее мнемосхема — на рис. 2.

АСУ ТП «Электротерм» построена в виде двухуровневой системы, структура которой представлена на рис. 3.

Назначение технологического процесса — зонная термообработка изделий различного типа и размера в контролируемой технологической среде. Особенностью ТП является необходимость проведения предварительных операций по подготовке установки к началу термической обработки каждого изделия и операций после завершения процесса. Эти операции могут быть разделены друг от друга определенными промежутками времени.

К подготовительным операциям относятся:

- загрузка в реактор (печь) каркаса изделия, конкретный режим обработки которого определяется его типом, размерами и другими условиями;



Рис. 4. Система охлаждения печи (слив)

- первичное вакуумирование печи с проверкой герметичности всей системы и последующим заполнением её технологическим газом, который затем пропускают через реактор на проток.

Только после этого начинается непосредственно процесс термической обработки, в течение которого

- разогревают печь до получения заданной температуры в заданной зоне и поддерживают эту температуру в течение всего цикла обработки;
- перемещают термпару, которая контролирует температуру в заданной зоне изделия, при этом скорость перемещения зоны выбирается в соответствии с кинетическими скоростями процесса и изменениями кристаллической структуры изделия;
- регулируют расход технологического газа и мощность ИСП;
- оборотной водой охлаждаются стенки реактора и токоподводы, при этом



Рис. 3. Структурная схема АСУ ТП «Электротерм»

уменьшение потока оборотной воды или повышение её температуры на выходе каждой секции системы охлаждения (рис. 4) вызывает срабатывание системы защиты (блокировку) технологического процесса и приводит к появлению соответствующей сигнализации на мнемосхеме (рис. 5).

Процесс обработки изделия считается законченным по истечении заданного временного интервала (цикла основного процесса). Обработанное изделие охлаждается и эвакуируется из реактора, а печь подготавливается для обработки другого изделия.

Таким образом, технологический процесс термической обработки изделий является циклическим. Время цикла операций по обработке одного изделия может составлять от нескольких дней до нескольких месяцев.

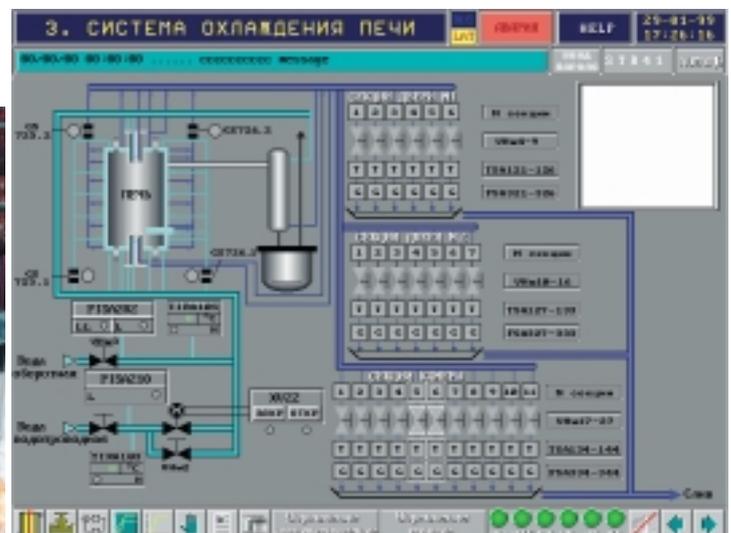


Рис. 5. Мнемосхема системы охлаждения печи



**Рис. 6. Укрупненная блок-схема технологического процесса термической обработки**

Укрупненная блок-схема технологического процесса термической обработки приведена на рис. 6.

Основное назначение АСУ ТП «Электротерм» — обеспечить функционирование объекта управления в штатных и нештатных ситуациях.

Система управления ТП обеспечивает выполнение следующих функций:

- управление подготовительными операциями объекта со щита местного управления;
- управление подготовительными операциями по установке термопары в реакторе с пульта управления УПП с цифровой индикацией текущего положения и световой сигнализацией крайних положений каретки УПП;
- управление подготовительными операциями преобразователя силового электропитания с пульта ИСП;
- автоматический контроль и управление с экранов ПК АРМ циклическими операциями по подготовке установки к работе и её завершению;
- автоматический пуск и ведение основного технологического процесса с экранов ПК АРМ, включая автоматический контроль, регулирование и управление технологическим режимом, сигнализацию (световую и звуковую) нарушений и блокировку про-

цесса при отклонении параметров за допустимые и аварийные границы с отображением информации на экранах ПК АРМ;

- сигнализация (световая) на экранах ПК АРМ состояния регулирующей заслонки, трубопроводной арматуры, электродвигателей привода дверей, вакуум-насоса и других элементов объекта управления.

### Алгоритмическое и программное обеспечение АСУ ТП «Электротерм»

Программное обеспечение (ПО) АСУ ТП «Электротерм» включает общее ПО и специальное математическое и программное обеспечение.

Для реализации информационных и управляющих функций нижнего и верхнего уровней в АСУ ТП «Электротерм» используется SCADA-система Трейс Моуд версии 4.20 фирмы AdAstra. При этом в качестве монитора реального времени на нижнем уровне функционирует МикроМРВ 4.20, а на верхнем уровне — МРВ 4.20.

Общее программное обеспечение ПК АРМ (PC на базе процессора Pentium) включает операционную систему MS-DOS, среду Windows, сетевую операционную систему, МРВ 4.20.

Общее ПО MicroPC в составе ПТК «КРУИЗ» включает MS-DOS, сетевые драйверы, МикроМРВ 4.20.

Специальное программное обеспечение нижнего уровня АСУ ТП «Электротерм» реализуется базой каналов МикроМРВ, функционирующей на MicroPC

ПТК «КРУИЗ». Соответствующие каналы в базе МРВ, реализованной на ПК АРМ верхнего уровня, обеспечивают визуализацию на экранах ПК информации о технологическом процессе и состоянии установки, а также возможность оперативного управления установкой и процессом с этих экранов. Связь между указанными базами каналов осуществляется по сети Ethernet. Информационная нагрузка микропроцессорного контроллера на базе MicroPC приведена в табл. 1.

На нижнем уровне реализуются функции автоматического управления и защиты ТП в соответствии с заданными для каждой операции алгоритмами.

При разработке ПО предусматривалось, что выполнение каждой операции ТП обеспечивается отдельной подпрограммой, порядок работы которой определяется общим алгоритмом функционирования ПО АСУ ТП «Электротерм». В соответствии с блок-схемой технологического процесса термической обработки в общем алгоритме должны быть задействованы 4 такие подпрограммы:

- 1) «Первичное вакуумирование» — ПВ;
- 2) «Первоначальная подача технологического газа» — ПТГ;
- 3) «Контроль и управление технологическим процессом» — КУТП, включая контроль и управление тремя режимами ТП:
  - разогрев печи — РП,
  - основной процесс — ОП,
  - охлаждение печи — ОХ;
- 4) «Конечное вакуумирование» — КВ.

**Таблица 1. Информационная нагрузка микропроцессорного контроллера системы**

№	Тип сигнала	Количество	Примечание
1	Входные аналоговые	11	4...20 мА
2	Входные аналоговые от термопар ХА	2+2+1	шкалы 0...200, 0...600, 0...1200°C
	от термосопротивления ТСМ 50М	1	шкала 0...50°C
3	Входной аналоговый	1	0...100 мВ, 0...35 кА
4	Входной интерфейсный канал RS-485	1	от БЦИ УПП
5	Входные дискретные	75	«сухой» контакт, 24 В постоянного тока
6	Входные дискретные	24	транзисторный ключ, 24 В постоянного тока
7	Входные дискретные	12	24 В переменного тока
Всего входных сигналов		128	
8	Выходные аналоговые	1	4...20 мА
9	Выходные дискретные	2	с ШИМ, 220 В переменного тока, 0,22 А
10	Выходные дискретные (выдаются в течение всего цикла обработки изделия)	6	220 В переменного тока, 0,22 А
		3	- через поляризованные реле
			- через ключи
11	Выходные дискретные импульсные	14	220 В переменного тока, 0,35 А
12	Выходные дискретные потенциальные	11	24 В постоянного тока, 0,2 А
13	Выходной дискретный импульсный	1	24 В постоянного тока 50 мА с T=1,5 с, t=0,1 с,
14	Выходные дискретные	12	24 В постоянного тока, внутренние сигналы управления поляризованными реле
15	Выходной интерфейсный канал RS-485	1	управления ИСП
Всего выходных сигналов		51	

В процессе работы ПО нижнего уровня опрашиваются определенные группы датчиков аналоговых и дискретных сигналов, характеризующих состояние объекта управления, и внутренние каналы, контролирурующие нажатие оператором расположенных на экранах ПК АРМ кнопок запуска отдельных подпрограмм. При запуске конкретной подпрограммы ПО в базе каналов МРВ верхнего уровня автоматически опрашиваются только те входные и выходные каналы из базы каналов МикроМРВ нижнего уровня, которые необходимы для работы данной подпрограммы, с автоматическим отключением от опроса остальных внешних каналов. Таким образом обеспечивается блокировка возможности случайного запуска с экрана ПК АРМ недопустимой операции.

При возникновении аварийных нарушений по постоянно опрашиваемым каналам, контролирующим общее состояние установки, оператору выдается соответствующее сообщение с занесением его в отчет тревог МРВ. На основе записей отчета тревог оператор обязан в течение отведенного ему времени выяснить причины возникших неполадок и принять меры к их устранению. По истечении отведенного времени происходит автоматический останов МРВ с выходом в DOS.

Алгоритмы подпрограмм ПВ, ПТГ и КВ, управляющих циклическими операциями по подготовке установки к работе и её плановому завершению, принципиально однотипны. Запуск каждой такой подпрограммы осуществляется оператором вручную с экрана ПК АРМ.

Подпрограмма КУТП осуществляет опрос используемых в ней каналов контроля параметров ТП и состояния оборудования с выдачей сообщений о нарушениях границ предупредительной сигнализации и аварийных границ в отчет тревог МРВ и выдачей специального сообщения на экран ПК АРМ о возникновении нештатной ситуации при отклонении параметров от нормы.

При включенном ИСП подпрограмма КУТП включает счетчики реального времени (таймеры), отслеживающие длительность разогрева печи  $T_{рп}$  и общего цикла обработки изделия  $T_{ц} = T_{рп} + T_{оп} + T_{в}$ , где  $T_{оп}$  — продолжительность основного процесса обработки изделия, а  $T_{в}$  — продолжительность выдержки изделия при заданной температуре после окончания основного процесса. Значения  $T_{рп}$ ,  $T_{оп}$ ,  $T_{в}$  и  $T_{ц}$  определяются типом и размерами обрабатываемого изделия и задаются на ПК АРМ с экрана «Задание параметров».



В алгоритме КУТП предусмотрен контроль наличия дискретных входных сигналов от температурных реле и реле протока, установленных на 23 контурах охлаждения дверей и печи в целом. При возникновении в этих контурах нарушений обеспечивается ручная или автоматический останов ТП с переводом его в режим ОХ с соответствующей световой и звуковой сигнализацией на ОПУ и мониторе ПК.

Кроме выполнения функций контроля, сигнализации и блокировки ТП подпрограммой КУТП предусматривается выполнение функций автоматического регулирования технологических параметров, обеспечиваемых:

- аналоговым ПИД-регулятором, управляющим положением регулирующей заслонки на линии подачи технологического газа в печь;
- аналоговым ПИД-регулятором температуры в печи (регулирование осуществляется изменением мощности ИСП);
- аналоговым ПИД-регулятором мощности ИСП;
- импульсным регулятором перемещения термопары с постоянной скоростью.

Таким образом, при штатном состоянии технологических параметров и оборудования установки подпрограммы АСУ ТП «Электротерм» обеспечивают выполнение команд управления конкретными операциями, и останов подпрограмм осуществляется автоматически после их окончания (по време-

Рис. 7. Щиты управления:

а — щит местного управления,

б — щит электропитания,

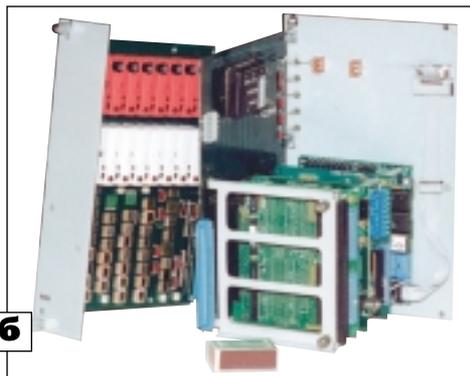
в — щит функциональных блоков

ни или при выполнении соответствующих условий). При этом система переходит в режим ожидания ручного запуска следующей подпрограммы.

При возникновении нештатных ситуаций дальнейший порядок работы определяется решениями технологического персонала (оператора).

### Аппаратные средства АСУ ТП «Электротерм»

Технические средства автоматизации, используемые на нижнем уровне АСУ ТП «Электротерм» (датчики, регулирую-



**Рис. 8. ПТК «КРУИЗ»:**  
**а** — общий вид,  
**б** — контроллер на базе MicroPC и УСО

щая и отсечная арматура с электромагнитными и электромеханическими приводами), выполнены в типовом исполнении, они выдают и принимают только электрические сигналы.

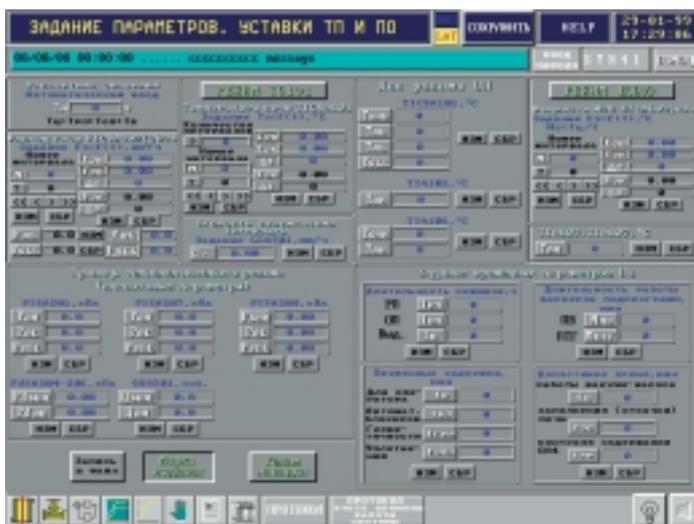
К этому же уровню относятся уже упомянутые щиты управления (рис. 7) и МПК на базе промышленной MicroPC с УСО и соответствующим программным обеспечением (рис. 8).

Комплект аппаратуры верхнего уровня образуют основной пульт управления (ОПУ) и офисный персональный компьютер (ПК). На базе ПК и ОПУ организовано автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора-технолога установки (рис. 9).

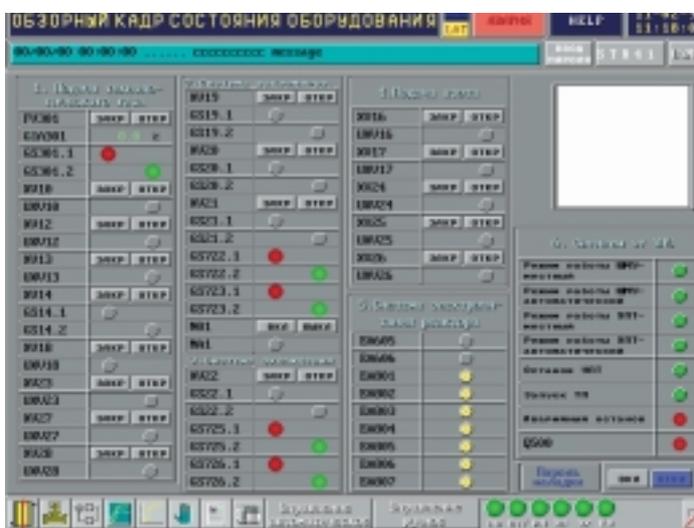


**Рис. 9. АРМ оператора-технолога установки**

Контроль и управление процессом осуществляют из помещения оператора, где располагается аппаратура управления и шкафы электропитания приборов, связанные с одной стороны, с датчиками, регулирующей и отсечной арматурой, со щитом местного управления и с пультом управления УПТ, а с другой стороны — с аппаратурой управления.



**Рис. 10. Пример кадра «Задание параметров»**



**Рис. 11. Управление клапанами из «Обзорного кадра»**

## Организация представления информации на АРМ оператора установки

Как уже упоминалось, ПО верхнего уровня, реализуемое на ПК АРМ, обеспечивает функции индикации параметров ТП, сигнализации нарушений режима и ручного управления запуском подпрограмм на контроллере нижнего уровня, а также ручного управления с экранов ПК циклическими операциями ТП. Кроме этого, на экранах ПК реализованы функции управления переходами между отдельными группами и кадрами.

На экранах ПК АРМ верхнего уровня реализуются 8 типов информационных кадров: «Мнемосхемы», «Обзорный кадр», «Контур», «Текущие тренды», «Архивные тренды», «Задание параметров», «Протокольные кадры», «Самодиагностика».

В верхнем левом углу экрана «Общий вид установки» и на «Обзорном кадре» расположены индикаторы состояния электрооборудования: при штатном состоянии они светло-желтые, при штатном отклонении питания — красные, мигающие.

Кнопки управления «Запуск» и «Останов» подпрограмм ПВ, ПТГ, РП, ОП, ОХ и КВ располагаются в группе кадров «Мнемосхемы» и включаются в работу на соответствующих стадиях технологического процесса. Шесть индикаторов работающих подпрограмм, которые при запуске той или иной подпрограммы меняют цвет с серого на зеленый, расположены в области системного меню. При останове подпрограммы цвет индикатора снова становится серым.

Задание или изменение числовых значений всех уставок осуществляется из кадра «Задание параметров» (рис. 10) только после ввода соответствующего пароля. После ввода всех необходимых значений и до начала технологического процесса необходимо нажать кнопку «Сохранить», расположенную в области заголовка. С этого же экрана при нажатии кнопки «Наладка» происходит переход в «Обзорный кадр» (рис. 11), откуда можно управлять клапанами в любой последовательности.

Группа кадров «Контур» состоит из 4 экранов и предназначена для управления ТП при запущенной программе КУТП (стадии РП, ОП, ОХ). С экранов «Контур» можно в процессе регулирования менять текущие значения настроек контуров регулирования, которые отображаются на гистограммах и в виде десятичных чисел.



Работа с трендами, представленными на экранах ПК АРМ, одинакова для всех видов графиков. Текущие и архивные тренды можно вывести на печать прямо с экрана ПК.

К протокольным кадрам относятся «Отчет тревог», «Протокол событий» и «Протокол учета времени работы системы». В первые два кадра переход осуществляется по системному меню, в третий — из кадра «Задание параметров» при вводе специального системного пароля.

«Отчет тревог» работает по принципу считывания первой строки последнего нарушения режима. «Протокол событий» служит для оперативного просмотра всей работы системы (ввод паролей, изменение уставок и т. д.). Все протокольные кадры можно вывести на печать.

Надежность АСУ ТП «Электротерм» обеспечивается наличием программы диагностики функционального шкафа с выводом информации на специальный экран «Самодиагностика». Отсутствие сигналов на всех тестовых каналах блоков при включенных ПК АРМ оператора и MicroPC может говорить об отсутствии сетевой связи между нижним и верхним уровнями.

Установка для термической обработки с автоматизированной системой управления является завершенным технологическим объектом и может использоваться в качестве тиражируемого изделия. ●