

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШАХТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ПЕЧИ НА ОСНОВЕ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ЭВМ IBM PC/AT И МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

© 1995, С.Ю. Бадмаева, В.О. Лебедев, С.Ю. Комиссарчук, А.В. Обносков, А.П. Цыпляков, С.А. Дмитриев\*, И.А. Князев\*

*МИФИ - технический университет, МосНПО "Радон"\**

В докладе рассматривается вариант системы автоматизированного управления таким сложным многомерным объектом, каким является шахтная плазменная печь для сжигания твердых радиоактивных отходов, являющаяся одним из наиболее эффективных аппаратов данного назначения.

Приводятся структурные схемы программного и технического обеспечения автоматизированной системы управления. Программное обеспечение построено на базе программного комплекса "Система управления микропроцессорными контроллерами и конструирования интерфейса оператора" (MIKSSYS), а в качестве микропроцессорных контроллеров предложено применить контроллеры типа МИК (СМ9107).

### 1. Общая характеристика объекта автоматизации

Объектом автоматизации является установка по переработке твердых радиоактивных отходов (ТРО), которая представляет собой печь шахтного типа (ПШТ) с жидким шлакоудалением, оснащенную системой газоочистки.

Основное отличие печи шахтного типа от традиционных печей сжигания заключается в том, что физико-химические процессы переработки отходов в шахтной печи проходят не только в подовой части, но и в верхней части печи — в шахте.

Кроме того, данная печь позволяет перерабатывать несортированные отходы с получением зольного остатка в виде расплавленной массы.

Установка состоит из следующих узлов и систем (рис. 1):

- печь шахтного типа (ПШТ);
- устройство загрузки ТРО (УЗ);
- устройство выгрузки шлака (УСВ);
- топливно-плазменные горелочные устройства (ТПИ);
- камера дожигания пирогаза (КД);
- испарительный теплообменник (ИТ);
- система газоочистки;
- система электрообеспечения;
- топливная система (СТ);
- система коммуникации сжатого воздуха;
- система коммуникации водяного охлаждения.

Основной элемент печи — шахта.

Перерабатываемые отходы загружаются сверху

и под действием силы тяжести опускаются вниз навстречу потоку отходящих газов. При своем движении отходы проходят три стадии: сушки и газификации, пиролиза и плавления.

Печь снабжена топливно-плазменными источниками нагрева (ТПИ), позволяющими расплавить тугоплавкие фракции отходов и получить конечный продукт переработки, пригодный для захоронения.

Вывод шлака осуществляется через горизонтально-вертикальный канал, расположенный в непосредственной близости от ТПИ.

Несмотря на высокие температуры, унос радионуклидов значительно ниже благодаря фильтрации горячих газов через слои отходов. В низкотемпературной зоне печи происходит осаждение летучих компонентов.

В составе отходящих газов, кроме газообразных горючих компонентов, содержатся сложные углеводороды, смолы и твердые частицы.

Для полного сжигания смол применяется циклонная камера дожигания (КД) с плазменным нагревателем.

После КД отходящие газы проходят окончательную очистку в многоступенчатой газоочистной системе сухого типа. Ее основным элементом — металлотканый фильтр.

Для ведения процесса переработки отходов в стабильном режиме и для предотвращения возникновения внештатных ситуаций необходим постоянный контроль концентраций  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ .

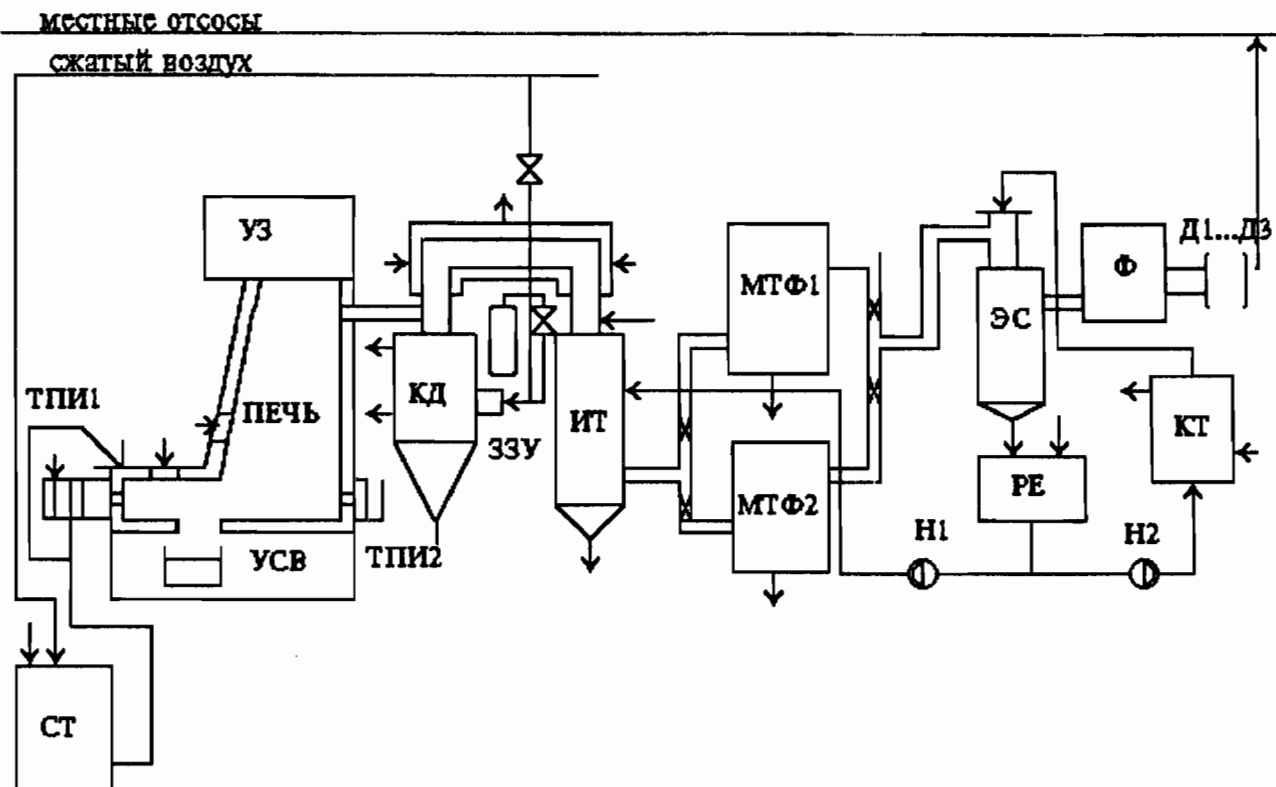


Рис.1. Технологическая схема установки шахтного типа.

УЗ – устройство загрузки. УСВ – устройство выгрузки. СТ – система топливоснабжения. ТПИ – топливно-плазменные источники нагрева. КД – камера дожигания. 3ЗУ – защитно-запальное устройство. ИТ – испарительный теплообменник. МТФ – металлотканые фильтры. ЭС – эжекторный скруббер. Н1,2 – насосы. РЕ – емкость рециркуляции. Ф – фильтр. КТ – кожухотрубчатый теплообменник. Д – вентиляторы.

Процесс переработки представляет законченную технологическую линию – от поступления твердых радиоактивных отходов в мешках до получения шлаковых компаундов, готовых к окончательному захоронению, а также полную очистку отходящих газов от радиоактивных и вредных химических компонентов, обеспечивающую соблюдение санитарных норм перед выбросом их в атмосферу, со сбором отработанного реагента химической очистки газов.

## 2. Описание функциональных узлов установки

Печь шахтного типа является основным составляющим узлом всей установки. Она предназначена для переработки ТРО.

Печь имеет элементы водоохлаждения по всей высоте шахты. В верхней части шахты имеется отверстие для вывода отходящих газов в систему газоочистки.

Вверху шахта оканчивается загрузочным устройством.

В нижней части пода, напротив форсуночного щита, имеется отверстие для слива шлака.

Загрузочное устройство (УЗ) служит для загрузки ТРО.

В систему контроля передается сигнал о положении отсеков устройства.

Устройство выгрузки (УСВ) представляет собой герметичный бокс для сбора образующегося жидкого шлака. Бокс размещен под сливным устройством.

В боксе имеется смотровое окно для визуального контроля заполнения контейнера.

Система контроля получает информацию о положении дверок люка.

Топливо-плазменные источники нагрева предназначены для конверсии жидкого топлива в потоке низкотемпературной плазмы, с целью получения высокоэнтальпийной плазменной струи, направленной в рабочий объем печи.

ТПИ состоит из собственно плазмотрона и водоохлаждаемой форкамеры, в которой имеется тангенциально встроенная форсунка для подачи топлива

в канал форкамеры. Форкамера состыкована с плазмотроном и представляет собой единый топливно-плазменный источник нагрева. Два таких ТПИ крепятся при помощи фланцевых соединений к форсуночному щиту.

Токи и напряжения на плазмотронах контролируются соответственно вольтметрами и амперметрами на щите управления.

Камера дожигания (КД) циклонного типа предназначена для дожига горючих продуктов пиролиза ТРО в отходящих газах.

КД представляет собой цилиндрический аппарат, имеющий снизу коническое днище, стенки аппарата водоохлаждаемые. Для ввода отходящих газов в верхней части аппарата имеется тангенциально расположенная труба, там же на противоположной стенке имеется другая тангенциально расположенная труба для подачи воздуха на дожигание.

Для поддержания устойчивого горения камера дожигания оснащена защитно-запальным устройством (ЗЗУ), управление которым осуществляется дистанционно с пульта управления. Конус КД оканчивается золосборником, где собирается остаточный углерод, оседающий на стенках конуса.

Водоохлаждаемый участок газохода служит для подвода отходящих газов от циклонной камеры дожигания до испарительного теплообменника. Горизонтальный участок газохода имеет отверстие для проведения аэродинамических замеров и отбора отходящих газов.

Испарительный теплообменник (ИТ) предназначен для снижения температуры отходящих газов с 800°C до 250°C и для перевода отработанного нейтрализующего раствора, а также солевых растворов из жидкой фазы в твердую, с последующим выводом осадка солевой смеси из газового потока.

ИТ представляет собой цилиндрический аппарат с водоохлаждаемой обкладкой. Насыщенный нейтрализующий раствор может подаваться и распыливаться в направлении движения газов через центробежно-струйную форсунку. Распыливаемая жидкость подается насосом Н1 из емкости рециркуляции нейтрализующего агента РЕ.

Система газоочистки предназначена для очистки аэрозолей и паров воды. Включает в себя: фильтры грубой очистки, устройство нейтрализации отходящих газов, газоходы, вытяжные вентиляторы.

Два фильтра грубой очистки включены параллельно и представляют собой металлотканые рукавные фильтры (МТФ).

МТФ представляет собой цилиндрический аппарат с коническим днищем, внутри которого размещены шесть рукавных фильтров.

Устройство нейтрализации отходящих газов

состоит из эжекторного скруббера ЭС, емкости рециркуляции нейтрализующего агента РЕ. Раскисляющая жидкость (1–2% раствор NaOH) подается насосом Н2 через кожухотрубчатый теплообменник КТ в скруббер через центробежную форсунку.

Окончательная очистка отходящих газов производится на фильтрах (Ф) системы местных отсосов главного технологического корпуса.

Для вытяжки отходящих газов и создания разрежения в рабочем объеме печи установлена система из трех последовательно соединенных вентиляторов Д1–Д3.

В состав установки входят также система электроснабжения установки, топливная система и другие вспомогательные подсистемы.

### 3. Структура АСУ

**Функциональное назначение АСУ.** Исходя из анализа ПШТ как объекта автоматизации, можно сформулировать ряд требований к разрабатываемой АСУ и конкретизировать ее функции.

Функциональное назначение АСУ состоит в реализации следующих функций:

1) Автоматическое измерение и аналого-цифровое преобразование параметров, характеризующих режим работы ПШТ с частотой 10 Гц и приведенной погрешностью 1%.

2) Автоматическое измерение и аналого-цифровое преобразование распределения температуры по высоте печи (5 точек) с приведенной погрешностью 1%. Частота измерения 1 Гц.

3) Автоматическое измерение и аналого-цифровое преобразование состава отходящего газа.

4) Ввод результатов измерения в ЭВМ и их оперативная обработка. Оперативная обработка включает линейную обработку результатов измерений (приведение к физическим единицам путем умножения на коэффициенты передачи измерительных трактов), а также учет градуировочных поправок.

5) Периодическое отображение результатов измерений параметров режима ПШТ на экранах мониторов в табличном виде с частотой 10 Гц.

6) Запоминание по команде оператора текущих значений аналоговых параметров установки и контроль их выхода за допустимые пределы. В случае недопустимого отклонения какого-либо параметра выдается сообщение на экран монитора. Если это отклонение способно привести к аварийной ситуации, следует сброс управляющего воздействия.

7) Отображение отклонения параметров от запомненных значений на экране монитора.

8) Запоминание по команде оператора дискретных параметров (типа включено/выключено), характеризующих состояние работоспособности ПШТ и его контроль. В случае изменения состояния — выдача сообщения на экран монитора.

9) Отображение состояния работоспособности технологических узлов ПШТ в виде мнемосхем на экране цветного монитора. Мнемосхема посредством изменения цвета входящих в нее элементов динамически отображает состояние соответствующего технологического узла.

10) Анализ и отображение в виде мнемосхем по требованию оператора информации о состоянии конкретной технологической подсистемы, например, системы водоснабжения или подачи топлива. Анализ работоспособности подсистемы должен производиться на основе логических таблиц, содержащих комбинации логических контролируемых переменных, которые определяют работоспособность того или иного элемента системы.

11) Накопление данных обо всех параметрах установки в долговременной памяти ЭВМ с периодом 10 мин в течение цикла работы (до 24 часов).

12) Последующее представление накопленных данных в виде графиков на экране монитора или принтере. График изменения какого-либо параметра может быть выведен для любого выбранного участка на оси времени. Должна быть представлена возможность отметки любой точки на оси времени и распечатки для этого момента всех значений параметров, которые затем могут быть занесены в базу данных.

13) Исследования функциональных зависимостей между параметрами установки. Должна быть представлена возможность снятия статических характеристик и запоминания их в долговременной памяти ЭВМ для последующего отображения в виде графиков.

14) Управление базой данных об оптимальных режимах работы ПШТ. Должна быть реализована возможность записи информации в БД для конкретного режима работы установки. Запись должна производиться следующими способами:

- а) автоматически после измерения параметров;
- б) после измерения параметров и коррекции результатов в диалоговом режиме;
- в) вручную в диалоговом режиме;
- г) из файла накопления данных после анализа изменения параметров.

Поиск данных в БД должен производиться по следующим атрибутам:

- а) состав ТРО (источник получения);
- б) состав топлива;

в) дата внесения или коррекции информации.

Для указанных атрибутов в БД должна храниться и представляться оператору следующая информация:

- значения оптимальных входных параметров ПШТ;
- текстовая информация об особенностях режима работы.

15) Обеспечение диалогового взаимодействия с оператором в форме развернутого меню с возможностью вывода на экран монитора справочной информации о любой функции, реализуемой АСУ.

16) Расчет теплового баланса печи с рекомендациями по температурному режиму ее рабочего пространства.

17) Автоматическое программное управление режимом работы установки в соответствии с содержанием технологического процесса, включающее автоматический запуск и остановку объекта и всех его подсистем.

18) Предоставление возможности оператору в любой момент времени вмешиваться в контур управления, прерывать и корректировать режим работы АСУ.

19) Быстрый переход с автоматического режима на ручной и обратно без срыва режима работы ПШТ.

**Структура и основные принципы построения АСУ ПШТ.** Требования, предъявляемые к разрабатываемой системе управления, а также обзор работ по состоянию и тенденции развития измерительных и управляющих систем подобного типа [Л.3] позволяют сделать вывод, что для АСУ ПШТ наиболее целесообразной является распределенная многомашинная структура, представленная на рис.2.

АСУ состоит из двух отдельных подсистем, выделяемых по функциональному признаку. Каждая из подсистем строится на базе микро-ЭВМ IBM PC/AT-286(386), обладающих удовлетворительными характеристиками по надежности для АСУ

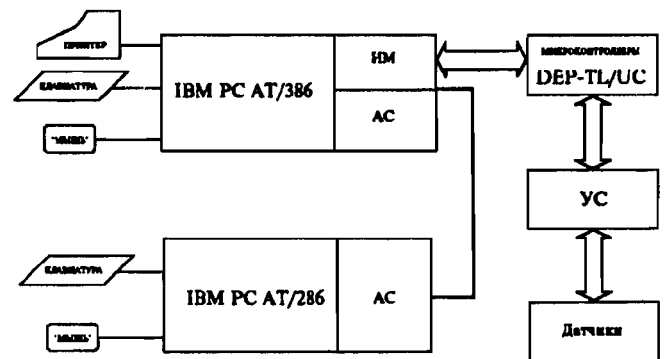


Рис.2. Структура аппаратного обеспечения

подобного класса объектов. Машины данного типа обладают широким набором технических и системных программных средств, на базе которых можно реализовывать прикладное программное обеспечение, удовлетворяющее целям создания АСУ.

Микро-ЭВМ для обмена информацией объединяются в локальную сеть (например, метод доступа EtherNet посредством сетевых контроллеров E-LAN 100 обеспечивает передачу информации со скоростью 10 Мбит/с).

Что касается выбора интерфейса между микро-ЭВМ и объектом управления, то, исходя из требований, предъявляемых к АСУ (гибкость, перестройка, быстрая ремонтоспособность, помехоустойчивость, способность к самотестированию и т.д.) в данном проекте предлагается использовать программно-управляемые микроконтроллеры МИК (СМ9107).

Преимуществом этих микроконтроллеров перед привычным интерфейсом КАМАК является большая надежность и помехозащищенность, обусловленная герметичной конструкцией. Кроме того, контроллеры МИК (СМ9107) позволяют создавать распределенные измерительные структуры без использования большого количества проводов, что снижает помехи. Предложенный контроллер полностью удовлетворяет требованиям к быстрдействию измерительной и управляющей аппаратуры разрабатываемой АСУ и необходимой пропускной способностью ввода данных в ЭВМ.

#### 4. Организация программного обеспечения

**Требования к системе контроля и управления.** Программное обеспечение системы автоматического контроля и управления должно удовлетворять следующим требованиям:

- автоматическое измерение параметров режима;
- ввод данных в ОЗУ, оперативная обработка данных;
- накопление данных, их обработка;
- периодическое отображение информации о параметрах на экране в цифровом и аналоговом виде;
- графическое отображение информации о состоянии ОУ в виде схем, временных, статических характеристик;
- контроль и предотвращение аварийных ситуаций;
- автоматическое оптимальное управление;
- коррекция и прерывание по командам оператора;
- возможность быстрого перехода от ручного управления к автоматическому, и наоборот;
- возможность получения информации с пульта управления о положении контакторов;
- наличие экспертной системы;
- получение листинга текущего режима;
- возможность снятия функциональных зависимостей между параметрами, их отображение в графическом виде.

**Выбор программного комплекса.** На рынке программного обеспечения существует несколько видов программных продуктов, предназначенных для создания АСУ ТП малой и средней мощности на базе IBM PC-совместимых компьютеров.

В данном случае был выбран программный продукт, разработанный на кафедре N 2 МИФИ. “Система управления микроконтроллерами и конструирования интерфейса оператора” (Комплекс интегрированной системы аппаратно-программных средств автоматизации – Комплекс МИК\$\$SYS УМИ v.7.1х Москва МИФИ к.2 УМИ 1994).

Выбор обусловлен возможностью решать большое количество задач в единой оболочке, быстродействием и надежностью работы всех элементов системы. В частности, применение растровой графики увеличивает скорость отображения, а использование операционной системы DOS обеспечивает возможность работы на персональном компьютере IBM PC AT/286.

Комплекс основан на стандарте аналогичных программ Siemens.

Для создания одной системы в среднем требуется 0.5 чел/год.

Данная система разработана для работы с микроконтроллерами УСО серий:

- МИК (СМ9107);
- DEP-TL (DEP-Systems, Ltd.);
- Ломиконт, Ремиконт, Ремиконт-130, III-711;
- и сетевого обеспечения, поддерживающего протокол обмена IPX/SPX.

**Назначение системы.** “Система управления микроконтроллерами и конструирования интерфейса оператора” (или “Комплекс интегрированной системы аппаратно-программных средств автоматизации”, в дальнейшем – МИК\$\$SYS), предназначена для создания комплексов автоматизации производства на базе IBM PC-совместимых компьютеров, сетей компьютеров, микроконтроллеров УСО и их сетей. Система решает следующие задачи: ведение предварительной обработки сигналов опроса и управления и расчетов, ведение баз данных сигналов и расчетных параметров, ведение архивов, создание графического интерфейса оператора.

**Требования к программно-аппаратным средствам.** Система функционирует на IBM PC-совместимых компьютерах следующей конфигурации:

- процессор не ниже 286, наличие сопроцессора желательно;
- ОЗУ не менее 640 КБайт, наличие расширенной памяти желательно;
- дисплей с адаптером EGA (EGA/VGA с памятью не меньше 256 КБайт);
- 101-клавишная клавиатура.

Любой формат системы (графики, мнемосхемы, таблицы) может быть выведен в любой момент работы на печать или представлен в виде файла с расширением PCX (в формате графического редактора PaintBrush) или в определенном формате для трендов и баз данных.

Ниже представлен полный список задач программного обеспечения верхнего уровня (см.рис.3).

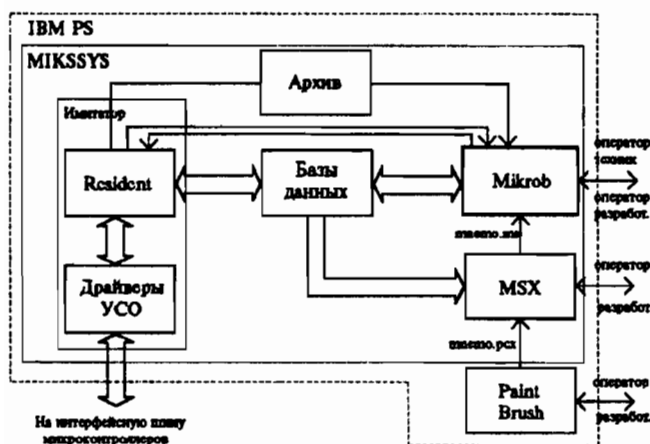


Рис.3.

#### Resident.Exe

Резидентная задача организации взаимодействия с УСО посредством драйверов УСО, организации опроса, предварительной обработки результатов, управления, расчетов, диагностики, ведения трендов, сетевого взаимодействия.

#### MSX.Exe

Конструктор мнемосхем систем отображения и управления информацией.

#### Микроб.Exe

Задача организации ведения баз данных сигналов

системы, отображения информации, управления системой и организации интерфейса оператора с использованием мнемосхем.

#### Swar.Com

Драйвер принудительного свопинга.

#### Заключение

В докладе предлагается описание программного и технического обеспечения АСУ ТП шахтной плазменной печи. В настоящее время получены следующие результаты:

1. Сформулированы основные требования к ПО и ТО АСУ ТП, разработаны их структурные схемы.
2. Создана база данных аналоговых и дискретных входных сигналов на основе таблицы контролируемых параметров.
3. Созданы статическая и динамическая часть, мнемосхемы установки соответственно в графическом редакторе Paint Brush и конструкторе MSX системы MİKSSYS.

#### Литература

1. Самоварщиков Ю.В., Цыпьяков А.П., Князев В.А., Бадмаева С.Ю. Разработка эскизного проекта автоматизированной системы управления для шахтной плазменной печи. Научно-технический отчет. Тема N 94-3-109-1835. М., МИФИ, 1994
2. Соболев И.А., Дмитриев С.А. и др. Практика сжигания твердых и жидких радиоактивных отходов. Перспектива развития. Доклад. г.Сергиев Посад, 1992
3. Технический проект АСУ циклотронного комплекса У-400-У-400М. Научно-технический отчет. N. Г.Р.01.90.0064.980. М., МИФИ, 1991
4. Техническая документация к Комплексу интегрированной системы аппаратно-программных средств автоматизации MİKSSYS. v.7.1xM., к.2 УМИ 1994

## AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE PLASM SHAFT FURNACE BASED ON IBM PC/AT AND MICROPROCESSOR CONTROLLERS

S.Yu. Badmaeva, V.O. Lebedev, S.Yu. Komissarchuk, A.V. Obnosov, A.P. Tsyplyakov, S.A. Dmitriev, I.A. Knyazev

The paper presents a version of the automated control system for such a complex and multidimensional plant as a shaft plasm fumace for burning solid radioactive wastes, which is one of the most efficient for this purpose.