

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А. А. ЛУБКОВ



Задача автоматизации присутствовала в числе приоритетных начиная с момента образования Института. Что, в принципе, неудивительно для организации с таким названием, как ИИЭ. Начав свою «автоматическую» историю от автомата по разбраковке конденсаторов, Институт прошел путь по созданию теории и методов автоматических измерений электрических величин, корреляционных вычислений, автоматизации сложнейших научных экспериментов и технологических процессов объектов.

### Процесс автоматизации в общем случае включает в себя:

- а) объект автоматизации;
- б) подсистему сбора данных об объекте, их хранения и визуализации;
- в) модель процесса или целевые функции, задающие требуемый ход процесса;
- г) подсистему формирования управляющих воздействий;
- д) подсистему исполнительных механизмов, которые позволяют изменять состояние объекта автоматизации в соответствии с заданной моделью.

В простейшем случае процесс автоматизации может ограничиваться всего двумя пунктами из перечисленных выше: объектом автоматизации и подсистемой сбора данных об объекте, их хранения и визуализации. В этом случае мы имеем дело с информационной измерительной системой.

Система, содержащая все подпункты, в которой формирование управляющих воздействий, осуществляется с участием человека, называется автоматизированной. Если же формирование управляющих воздействий осуществляется без участия человека, то она называется автоматической.

«Кирпичиками», из которых выстроены современные системы автоматизации, служат:

- первичные преобразователи (датчики), предназначенные для получения информации об объекте;
- устройства связи с объектом, обеспечивающие передачу информации от первичных преобразователей к устройствам ее обработки

или регистрации;

- контроллеры для получения данных, их передачи на уровень моделирования и принятия решений, а также для реализации простейших алгоритмов регулирования, в соответствии с заданием;

- база данных, содержащая информацию об объекте;

- устройства, определяющие рассогласования значений параметров объекта и модели (целевой функции) и формирующие задания для контроллеров;

- устройства, обеспечивающие функции визуализации, аварийной и предупредительной сигнализации, ведение журналов событий и т. п.;

- исполнительные механизмы, изменяющие условия выполнения процесса управления.

В современных системах автоматизации общепринятым стало использование удаленного доступа к автоматизированной системе, который осуществляется с использованием Интернет-технологий.

Процесс управления объектом заключается в поддержании регулируемых параметров этого объекта в заданных диапазонах, или, как говорят, в «трубке значений». В многопараметрических и многокритериальных процессах регулирования необходимо обеспечить нахождение в заданных диапазонах одновременно многих параметров. Управление обычно происходит при наличии погрешности измерений, шума в измеряемых сигналах, а также в условиях ограничений на величины управляющих воздействий.

Определяющий вклад в развитие автоматизации управления в настоящее время в ИИЭ СО РАН вносят лаборатории «Нечетких технологий», «Цифровых методов обработки изображений», «Физико-технических проблем дистанционной диагностики», «Интегрированных информационных систем управления», отделов ИЦ-6 и ИЦ-2 инженерного центра.

При активном участии Института в разное время были решены задачи управления рядом объектом: телескопом «РАТАН 600» (станция Зеленчукская), станом обрезки труб на заводе им. Кузьмина (Новосибирск), энергоблоком №4 крупнейшей в Новосибирске ТЭЦ №6, процессом сжигания топлива на Уренгойской ТЭЦ №1, четыремя агрегатами Новосибирской ГЭС, станцией Новосибирского метрополитена «Березовая роща», установкой выращивания



А.С. Сероштан и К.В. Баяев устанавливают датчик биения вала гидрогенератора Новосибирской ГЭС.

крупногабаритных монокристаллов методом Чохральского (Красноярск).

Последняя из работ своим возникновением в ИИЭ СО РАН в 1994 г. обязана главному инженеру Института Н. Н. Карлсону, сумевшему в очень сжатые сроки организовать коллектив разработчиков и создать действующий экспериментальный образец цифрового управляющего комплекса (ЦУК).

На тот момент ЦУК представлял собой многопроцессорный комплекс, полностью разработанный в Институте и обеспечивающий автоматизированное выращивание монокристаллов кремния на установке 221УА100 «Бирюса». В создании комплекса, датчиков диаметра выращиваемого монокристалла и уровня расплава, программного обеспечения ЦУК, включающего создание алгоритмов и регуляторов для выращивания монокристаллов, приняли участие: В. Е. Зюбин, к. т. н. С. А. Кузнецов, Д. В. Булавский, В. В. Миронов, В. О. Криворучко, А. В. Астанков, к. т. н. Е. С. Нежевенко, к. т. н. С. В. Михляев, Ю. Д. Мухин, В. Н. Котов, Н. В. Котов. На «Бирюсе» был приобретен бесценный опыт по созданию ростовых установок и управляющих ими комплексов, который позже очень пригодился при проектировании

современной ростовой установки 221УМК90 «Кедр» и модернизированного ЦУКМ «Сибирячка».

Что такое ЦУКМ и какова его задача? Печной агрегат для выращивания монокристаллов кремния диаметром до 250 мм и массой до 90 кг представляет собой вакуумную установку с двумя разделяемыми вакуумным затвором откачиваемыми камерами общим объемом около 1,5 м<sup>3</sup>.

Камеры продуваются потоком аргона с управляемым расходом. Нагреватель нижней камеры с мощностью 120170 кВт служит для расплавления загрузки и обеспечения заданной температуры расплава кремния в тигле плавильной камеры (около 1400 °С). В состав агрегата входят тигель и затравка, вращающиеся и перемещающиеся с управляемыми скоростями, а также система охлаждения агрегата.

Такая «умная печь» должна обеспечить выполнение технологического процесса выращивания монокристалла кремния заданного диаметра, который включает следующие стадии: расплавление загрузки, стабилизация расплава, затравливание, выращивание шейки, конуса, обратного конуса, отрыв кристалла, охлаждение кристалла. Вмешательство оператора должно сводиться к загрузке поликристаллического кремния в тигель печного агрегата и извлечению готового кристалла из верхней камеры печного агрегата.

Цель процесса - получение структуры кристалла и его заданной геометрии. Достижение этой двойной цели в условиях вакуума, высокой температуры и изменяющейся массы расплава приводит к жестким требованиям по обеспечению необходимых температурных режимов, скоростей и ускорений перемещения и вращения затравки и тигля, заданных давления и расхода инертного газа.



Сотрудники Института около разобранного для профилактических работ объекта автоматизации - установки выращивания монокристаллов 221УМК090, 2004 год.

Слева направо:  
С.А. Лылов,  
А.Д. Петухов,  
А.В. Курочкин,  
С.В. Окунишников,  
А.А. Лубков,  
В.Е. Зюбин.



А. Н. Бевзов



А. Д. Петухов



А. В. Курочкин



С. А. Лылов



А. Н. Котов

В создании ЦУКМ приняли участие более 30 сотрудников Института, в основном из лабораторий «Физико-технических проблем дистанционной диагностики» (заведующий лабораторией д.т.н. О.И.Потатуркин) и «Интегрированных информационных систем управления» (заведующий лабораторией к.т.н. А. А. Лубков), двух тематических групп (д.т.н. Е. С. Нежевенко, к.т.н. В. Е. Зюбин), отдела ИЦ-2 инженерного центра (В. И. Литвинцев).

В разработке аппаратной части шкафа программного управления ЦУКМ основная работа выполнена ведущими инженерами В. Н. Котовым, А. А. Зотовым, А. А. Сероштаном, научным сотрудником С. В. Перебейносом.

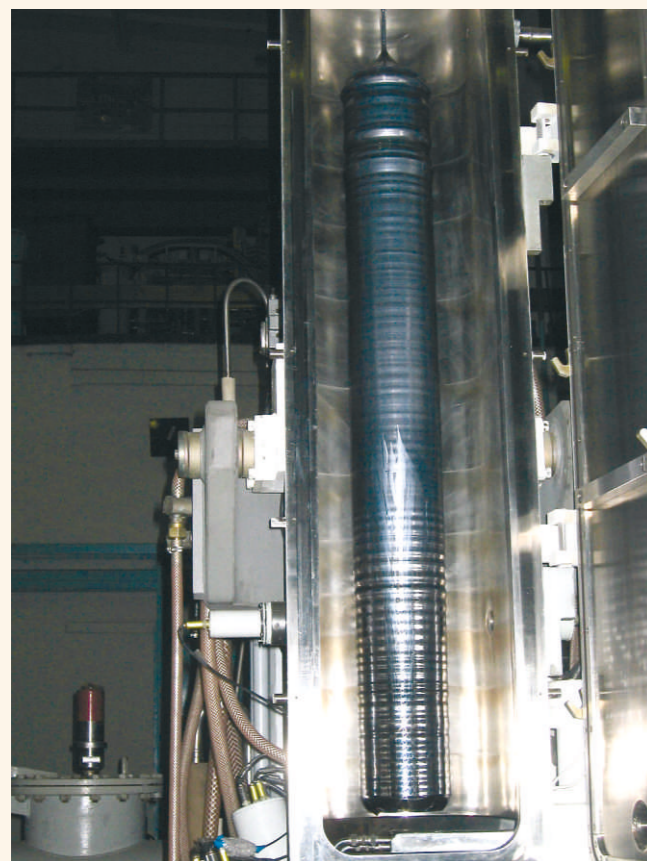
Создано шесть специализированных датчиков: телевизионный датчик диаметра кристалла, оптический датчик уровня расплава, оптоэлектронные датчики температуры нагревателя и расплава, лазерный датчик привязки и омический датчик касания расплава. Основной вклад в эту работу внесли руководитель тематической группы «Оптико-электронные специализированные процессоры» д.т.н. Е.С.Нежевенко, к.т.н. С. В. Михляев, к.т.н. В.И.Козик, к.т.н. А. В. Яковлев, ведущий инженер А. П. Недосекин, инженер А. А. Сотников.

Логика управления комплексом на основе устойчивых (робастных) алгоритмов управления многокритериальными и многопараметрическими процессами, язык описания технологического процесса разработаны руководителем тематической группы «Языковые средства проектирования информационных систем управления», к.т.н. В. Е. Зюбиным при активном участии ведущего инженера А. Д. Петухова.

Программное обеспечение ЦУКМ (система сбора и обработки данных процесса имеющего периодический характер) - заслуга коллектива программистов в составе научных сотрудников А. В. Курочкина, А. Н. Бевзова, С. В. Окунишникова, С. А. Лылова. Программное обеспечение комплекса технолога ЦУКМ создано к.т.н. К. И. Будниковым и младшим научным сотрудником И. И. Безштейновым.

Разработку блоков управления приводами и источника питания нагревателя выполнили руководитель ИЦ-2 В. И. Литвинцев, ведущие инженеры К. В. Баев, А. О. Суворов.

Опытный образец установки выращивания монокристаллов кремния 221УМК090 успешно прошел приемочные испытания в январе 2004 г. К марту 2006 г. проведено около 20 экспериментальных плавов, в ходе которых разработан технологический процесс автоматического выполнения всех этапов выращивания монокристаллов с получением заданной геометрии монокристалла.



Монокристалл кремния, выращенный с помощью ЦУКМ, еще горячий. 2005 г.

Лаборатория интегрированных информационных систем управления. 2004 г.

Первый ряд,  
слева направо:

С.А. Лылов,  
И.И. Безштейнов,  
Н.А. Демидова,  
А.Н. Бевзов,  
Второй ряд:  
В.Н. Котов,  
В.В. Курочкин,  
И.Ф. Клисторин,  
А.Д. Петухов,  
А.П. Недосекин.

Третий ряд:  
С.В. Перебейнос,  
К.И. Будников,  
А.А. Лубков,  
Н.В. Котов,  
С.В. Окунишников,  
А.А. Зотов,  
А.В. Курочкин.

