

УДК 548.52

© А. В. Бородин, В. А. Бородин, А. Б. Ивлев, И. С. Петьков, В. В. Сидоров, Д. Н. Францев

## ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УСТАНОВОК РОСТА КРИСТАЛЛОВ ИЗ РАСПЛАВА

В настоящей публикации дается краткое описание программно-технического комплекса, разработанного совместно ООО "РОСТОКС-Н" и Экспериментальным заводом научного приборостроения РАН для серийной установки НИКА роста кристаллов из расплава.

### ВВЕДЕНИЕ

Оснащение установки роста кристаллов нового поколения современным программно-техническим комплексом (ПТК), включающим информационно-вычислительные и управляющие функции, позволяет выращивание кристаллов в автоматическом режиме и управление качеством выращиваемых кристаллов. В ООО "РОСТОКС-Н" и на Экспериментальном заводе научного приборостроения РАН разработан такой ПТК. Он предназначен для использования на серийно выпускаемой установке роста кристаллов из расплава НИКА.

Информационно-вычислительные функции ПТК "РОСТОКС-КОНТРОЛЬ" включают сбор и обработку аналоговых и дискретных сигналов, отображение и регистрацию информации для оперативного персонала, технологическую сигнализацию, регистрацию аварийных ситуаций, регистрацию событий, накопление информации в архиве, протоколирование информации. Автоматизированная система с обратной связью включает в себя алгоритмы оценивания состояния объекта и управление контурами регулирования температуры нагревателя, скорости вытягивания.

К управляющим функциям ПТК относятся автоматическое регулирование, логическое управление, дистанционное управление. Управляющая программа Nika-2000 разработана в среде Microsoft Visual C++ 6.0 для операционных систем Windows95/98/NT. Модульное построение программы обеспечивает ее быструю адаптацию к различным методам выращивания кристаллов из расплава и к новым внешним устройствам. В программе имеются следующие модули: модуль представления данных процесса выращивания, модуль ручного управления процессом роста и управления внешними устройствами, модуль математической модели процесса выращивания и автоматического управления по каналу мощности.

### АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

Программно-технический комплекс состоит из аппаратной и программной частей. В качестве управляющей ЭВМ используется компьютер IBM PC в промышленном исполнении. Упрощенная блок-схема ПТК представлена на рис. 1.

Аппаратная часть состоит из канала измерения силы, действующей на выращиваемый кристалл, канала управления мощностью высокочастотного генератора (далее ВЧ-генератор), канала управления двигателями вращения и перемещения верхнего и нижнего водоохлаждаемых штоков.

Канал измерения силы состоит из тензорного датчика, с помощью которого вес выращиваемого кристалла преобразовывается в электрический сигнал, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и узла опторазвязки, который по каналу передачи данных RS-232 соединен с компьютером. Наличие опторазвязки обеспечивает вращение тензорного датчика и аналого-цифрового преобразователя относительно узла опторазвязки, при этом питание аналого-цифрового преобразователя осуществляется через скользящие контакты. Характеристики канала измерения силы представлены в таблице.

Канал управления мощностью ВЧ-генератора содержит цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), расположенный на плате, установленной в слоте промышленного компьютера. Цепи питания и управления преобразователей гальванически развязаны от электрической цепи компьютера.

В автоматическом режиме контроль и управление мощностью преобразователя частоты обеспечивает управляющая программа. В ручном режиме управление осуществляется оператором с помощью ручки "Мощность генератора", расположенной на устройстве индикации. Контроль мощности преобразователя частоты осуществляется по индикатору, расположенному на устройстве индикации.

Технические характеристики ростовой установки и ПТК

Характеристика	Значение
Диаметр выращиваемого кристалла	До 80 мм (в зависимости от способа выращивания кристалла)
Масса выращиваемого кристалла	До 4 кг
Чувствительность датчика веса	Не менее $50 \times 10^{-6}$ кг
Рабочий ход верхнего штока	600 мм
Скорость перемещения верхнего штока	От 0.5 до 120.0 мм/ч (рабочая) От 0.5 до 150.0 мм/мин (ускоренная)
Отклонение рабочей скорости перемещения верхнего штока от установленной	В пределах $\pm 1$ %
Диапазон регулирования частоты вращения верхнего штока	От 5.0 до 100 об/мин
Отклонение частоты вращения верхнего штока от установленной	В пределах $\pm 1$ %
Рабочий ход нижнего штока	150 мм
Используемая выходная мощность преобразователя (частота $7 \pm 2$ кГц)	Не менее 21 кВт
Диапазон использования выходной мощности преобразователя частоты	от 10 до 100 %
Допустимое отклонение выходной мощности преобразователя частоты от установленной	В пределах $\pm 0.1$ %
Габаритные размеры устройства автоматизации с устройством управления составляют не более (ширина $\times$ длина $\times$ высота)	1500 $\times$ 700 $\times$ 1200 мм
Масса устройства автоматизации не более	70 кг
Средняя наработка на отказ	Не менее 1000 ч
Средний срок службы установки до списания	Не менее 8 лет

Переход с ручного управления на автоматическое и обратно может быть осуществлено оператором как с клавиатуры ЭВМ IBM PC, так и переключателем, расположенным на устройстве индикации.

Канал управления перемещением и вращением штоков состоит из блока WDPМЗ-314 фирмы "Positec" и 3-фазных шаговых двигателей. Управление блоком WDPМЗ-314 осуществляется по каналу передачи данных RS-232 от компьютера. Управление электромагнитными муфтами понижающих волновых редукторов осуществляется через плату ввода—вывода, размещенную в IBM PC. К этой плате подключены концевые выключатели механизма перемещения.

## ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

Блок-схема программной части представлена на рис. 1. Рассмотрим вкратце ее составные части и механизм функционирования.

Аналоговый сигнал с тензорного датчика силы преобразуется с помощью АЦП в двоичный код, который считывается компьютером. Для уменьшения шумов сигнал проходит программную цифровую фильтрацию. В программе используется перестраиваемый низкочастотный фильтр с бесконечной импульсной характеристикой, так называемый БИХ-фильтр [1]. После фильтрации сигнал датчика силы поступает на модуль протоколирования (журнал событий), модуль отображения информации и на модуль автоматического управления.

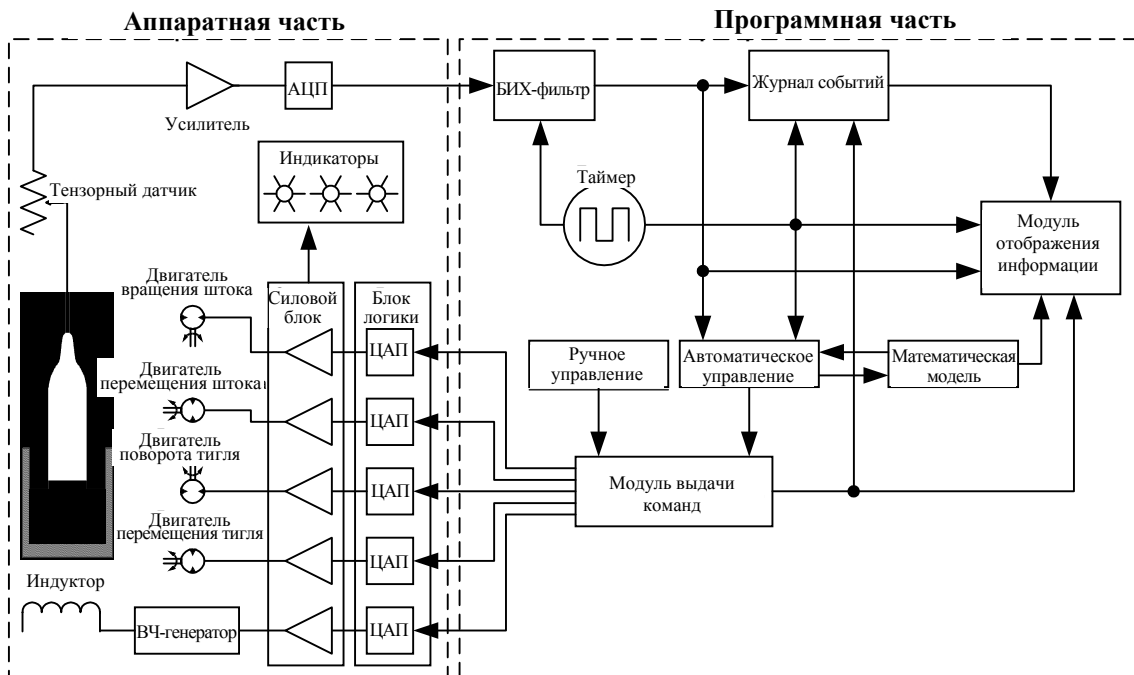


Рис. 1. Блок-схема ПТК

С модулей ручного и автоматического управления сигнал управления поступает на модуль выдачи команд. Модуль выдачи команд согласно поступающим указаниям вырабатывает команды управления электроникой, которые поступают на блок логики аппаратной части ПТК.

Автоматическое управление в ходе выращивания кристалла методом Чохральского заключается в поддержании заданной зависимости радиуса сечения кристалла от длины  $R(l)$ . Для тугоплавких оксидов наибольшее распространение получили системы управления с весовым контролем выращиваемого кристалла и регулированием мощности ВЧ-генератора. Блок-схема автоматической системы управления (АСУ) описана в [4].

В программе предусмотрен графический вывод информации о всех параметрах процесса роста и управления, таких как: величина силы с тензорного датчика, реальный и модельный вес кристалла, модельная длина кристалла, мощность ВЧ-генератора и пр. Осуществление графического вывода обеспечивает модуль отображения информации. На рис. 2 представлен вид экрана программы.

В левой части окна программы показан внешний вид растущего кристалла с тиглем и уровнем расплава в нем. Окно в верхнем

правом углу окна программы показывает графики реального и модельного радиусов в зависимости от длины кристалла. Таблица в нижнем правом углу окна представляет в числовом виде все технологические параметры. Программа обладает гибким настраиваемым графическим интерфейсом, который позволяет произвольно настроить отображение информации согласно требованиям оператора установки.

Программа управления процессом выращивания кристаллов имеет следующие основные режимы работы:

- режим управления мощностью нагревателя;
- режим управления двигателями в приводах вытягивания и вращения штока;
- режим автоматического управления процессом выращивания кристаллов с применением датчика силы;
- режим оповещений и предупреждений оператора установки;
- режим вывода параметров процесса на экран монитора в виде динамических графиков и их численных значений;
- режим записи необходимых параметров процесса в файл.

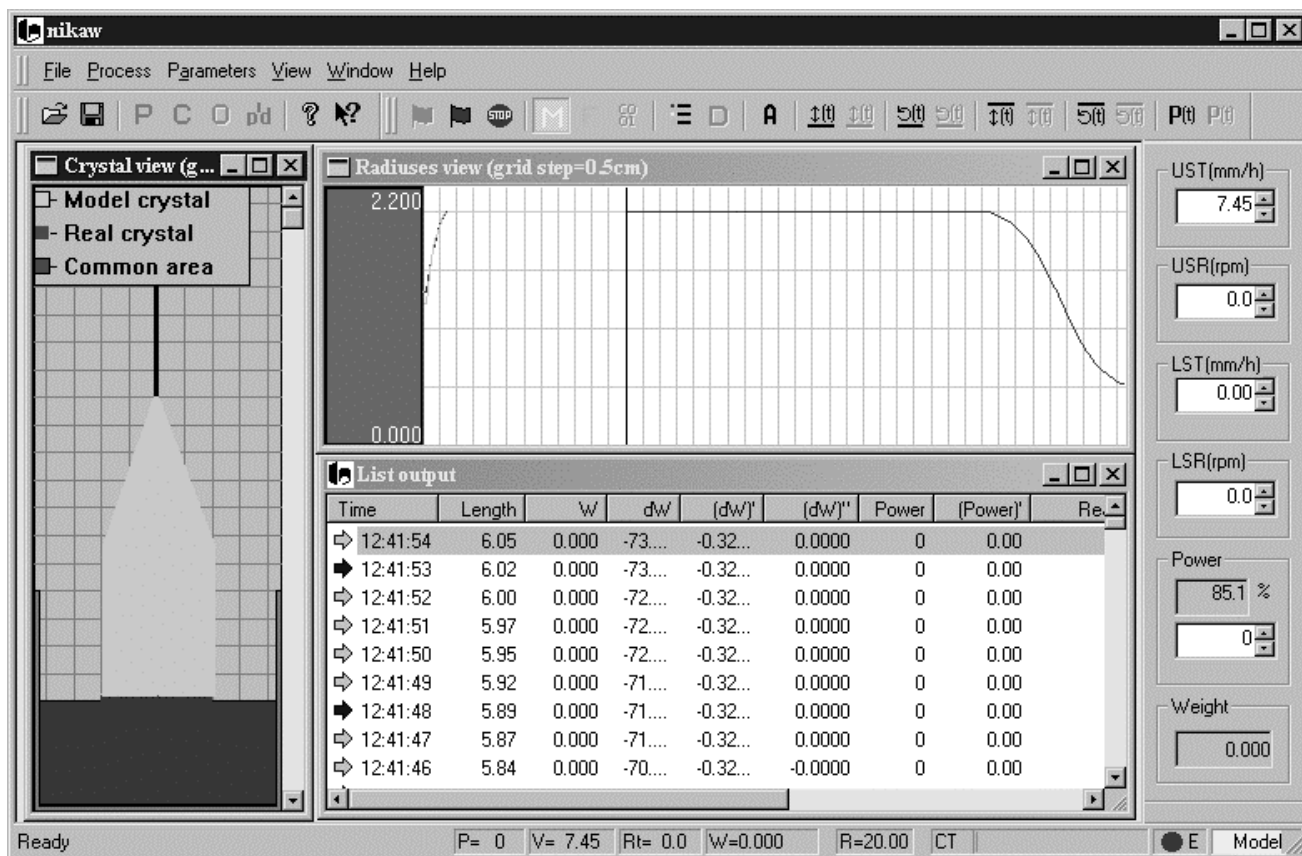


Рис. 2. Интерфейс управляющей программы

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный программно-аппаратный комплекс прошел успешные испытания при выращивании монокристаллов алюмоиттриевого граната методом Чохральского (см. [4], рис. 4, 5).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каппелини В., Константинович А. Дж., Эмилиани П. Цифровые фильтры и их применение. М.: Энергоатомиздат, 1983. 360 с.
2. Bardsley W., Hurle D.T., Joyce G.C., Wilson G. // J. Cryst. Growth. 1977. V. 40, N 1. P. 21–28.
3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. М.: Машиностроение, 1978. 736 с.

4. Бородин А.В., Петков И.С., Францев Д.Н. Алгоритм управления профилем кристалла для автоматического выращивания методом Чохральского // В этом номере. С. 25–29.

ЗАО "РОСТОКС-Н", г. Черногловка (А. В.Бородин, И. С. Петков, В. В. Сидоров)

Экспериментальный завод научного приборостроения РАН (ЭЗАН), г. Черногловка (В. А. Бородин, А. Б. Ивлев)

ИФТТ РАН, г. Черногловка (Д. Н. Францев)

Материал поступил в редакцию 04.12.2001.

## **HARDWARE—SOFTWARE COMPLEX FOR FLUX GROWTH SYSTEMS**

**A. V. Borodin<sup>1</sup>, V. A. Borodin, A. B. Ivlev, I. S. Petkov<sup>1</sup>, V. V. Sidorov<sup>1</sup>, D. N. Frantsev<sup>2</sup>**

*Pilot Plant of Scientific Instrumentation RAS, Chernogolovka*

<sup>1</sup>*ZAO "ROSTOKS-N", Chernogolovka*

<sup>2</sup>*Institute of Solid-State Physics RAS, Chernogolovka*

This paper presents a brief description of a hardware—software complex developed by ZAO "ROSTOKS-N" together with the Pilot Plant of Scientific Instrumentation RAS for the commercial flux crystal growth system НИКА.