



Комплекс контроля и управления научно-технологическими экспериментами в космосе

*Игорь Озерных, Александр Подтуркин, Александр Драков,
Александр Макаренков, Владимир Шишулин, Александр Колотовкин*

В статье описаны структура и состав комплекса, предназначенного для оперативного контроля и управления процессом кристаллизации методом зонной плавки в космических ростовых установках. Благодаря выбранной элементной базе комплекс отвечает требованиям высокой надежности в сочетании с эффективностью выполнения штатных задач.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСА

Повышение эффективности научных экспериментов в космосе в значительной степени связано с внедрением новых технологий контроля и управления экспериментами, которые в настоящее время определяются новым понятием — «космический телесайенс».

В статье рассматривается вариант реализации такой технологии на базе специального программно-технического комплекса. Комплекс контроля и управления космическими научно-технологическими экспериментами (КНТЭ) предназначен для решения следующих основных задач:

- осуществление оперативного контроля параметров, определяющих динамику технологических экспериментов;
- контроль микродинамического фона и других видов внешних возмущений при проведении КНТЭ;
- бортовая обработка информации о параметрах КНТЭ и поступающих команд управления;
- оптимизация технологических режимов КНТЭ при автоматическом и оперативном управлении;
- оперативная доставка информации о параметрах КНТЭ в наземный терминал комплекса (НТК) и далее непосредственно постановщику эксперимента (исследователю) и разработчику бортового технологического оборудования (БТО), обеспечиваю-



Рис. 1. Опытный образец бортового терминала на этапе наземных испытаний

щая эффект присутствия при проведении КНТЭ;

- обеспечение возможности проведения в НТК анализа поступающей информации о протекании КНТЭ с последующей корректировкой технологических режимов в квазиреальном времени с использованием технических и программных средств НТК и постановщика эксперимента;
- возможность корректировки постановщиком эксперимента режима проведения КНТЭ по результатам его анализа и диагностики непосредственно из НТК или средствами исследователя.

Решение данных задач позволяет обеспечить более рациональное проведение эксперимента в условиях космического полета и более эффективное использование полетного времени.

Описываемый в статье комплекс находится на этапе испытаний, бортовой терминал выполнен в качестве опытного образца (рис. 1); наземный терминал комплекса находится в стадии эскизного проекта и в ходе испытаний программно эмулируется.

НАЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Комплекс выполняет информационные, управляющие и вспомогательные функции (прием-передачу данных, хранение, обработку, и т.д.) при проведении научно-технологических экспериментов. Он предназначен для оперативного контроля и управления процессом кристаллизации методом зонной плавки в космических ростовых установках. Сотни экспериментов по

выращиванию монокристаллов в космосе не дали ожидаемых результатов: существенного улучшения воспроизводимого качества кристаллов добиться пока не удалось. Это связано с наличием микрогравитации (g) на борту космического аппарата, изменяющейся во времени и пространстве и оказывающей существенное влияние на рост и качество кристалла при значениях отношения g/g_0 ($g_0=9,8 \text{ м/с}^2$) более 10^{-5} .

В существующих космических ростовых установках отсутствуют средства оперативной диагностики и управления параметрами процесса, поэтому разработка представляемого комплекса весьма актуальна.

Схема ростовой установки, реализующей выращивание монокристаллов методом зонной плавки, представлена на рис. 2. Цилиндрическая заготовка в капсуле (поликристалл) помещена внутри многосекционной цилиндрической печи, и концы закреплены в графитовых вставках.

После запуска установки печь включается, нагреватели выводят на заданный температурный режим, при котором в центре печи создается зона расплавления заготовки. Далее включается система перемещения, образец протягивается с малой скоростью через печь, расплавленный материал попадает в более холодную зону печи и кристаллизуется с образованием монокристалла. На качество получаемого монокристалла влияет ряд факторов, основные из которых — температурное поле в печи и образце, скорость перемещения образца относительно печи, величина и направления микроускорений на установке, скорость перемещения фронта кристаллизации. На рис. 2 показаны графики распределения температурного поля по оси заготовки и скорости перемещения фронта кристаллизации для конкретной бортовой технологической установки. Взаимосвязь перечис-

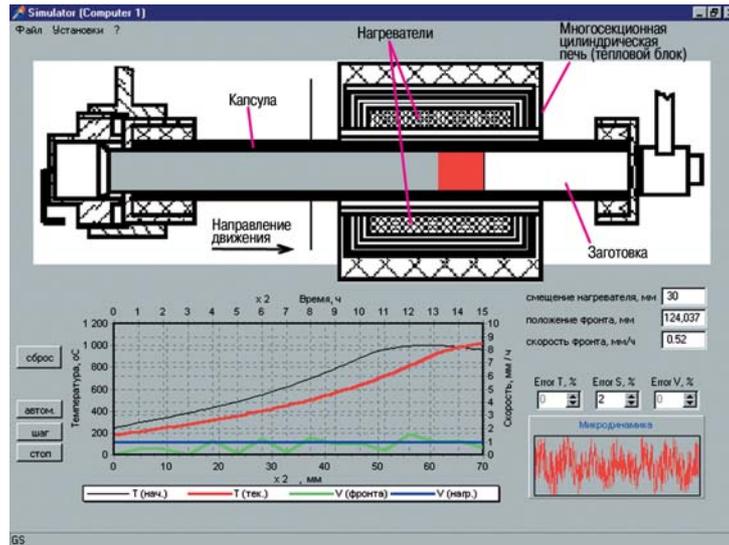


Рис. 2. Общий вид тепловой зоны технологической установки

ленных факторов, их влияние на качество выращиваемых кристаллов могут быть учтены только с использованием корректной математической модели процесса.

Такая модель позволит рассчитать параметры тепловых процессов вне зоны расположения датчиков, выбрать характер и величину управляющих воздействий для получения высококачественного монокристалла.

Обобщающим параметром, по которому можно судить о качестве моно-

кристалла в процессе выращивания, является форма поверхности раздела «расплав-кристалл», которая должна быть близкой к плоской для получения высококачественного монокристалла.

Таким образом, задача управления ростом кристалла заключается в изменении формы фронта кристаллизации и выработке на основании расчетов по математической модели процесса управляющих воздействий для изменения температурного поля печи, скорости перемещения об-

разца относительно печи, снижения уровня ускорений за счет виброзащитной платформы и др.

СОСТАВ КОМПЛЕКСА

Структурная схема комплекса приведена на рис. 3.

В состав комплекса входят следующие основные части: бортовой терминал (БТК), наземный терминал (НТК), система программного обеспечения. БТК и НТК соединены между собой каналами связи для передачи данных и команд управления. Каналы связи образованы существующим бортовым и наземным оборудованием следующих систем: бортовая измерительная и информационно-управляющая системы, бортовой радиотехнический комплекс, командно-измерительные пункты (КИП), центр управления полетом (ЦУП). БТК производит сбор, обработку и управление бортовым технологическим оборудованием, а НТК обеспечивает возможность исследователю контролировать режимы работы технологического оборудования и изменять их. Взаимодействие исследователя с технологическим процессом на борту реализовано в квазиреальном масштабе времени.

БТК выполнен в основном на оборудовании формата MicroPC фирмы Octagon Systems (рис. 4): 5066-586 — процессорная плата;

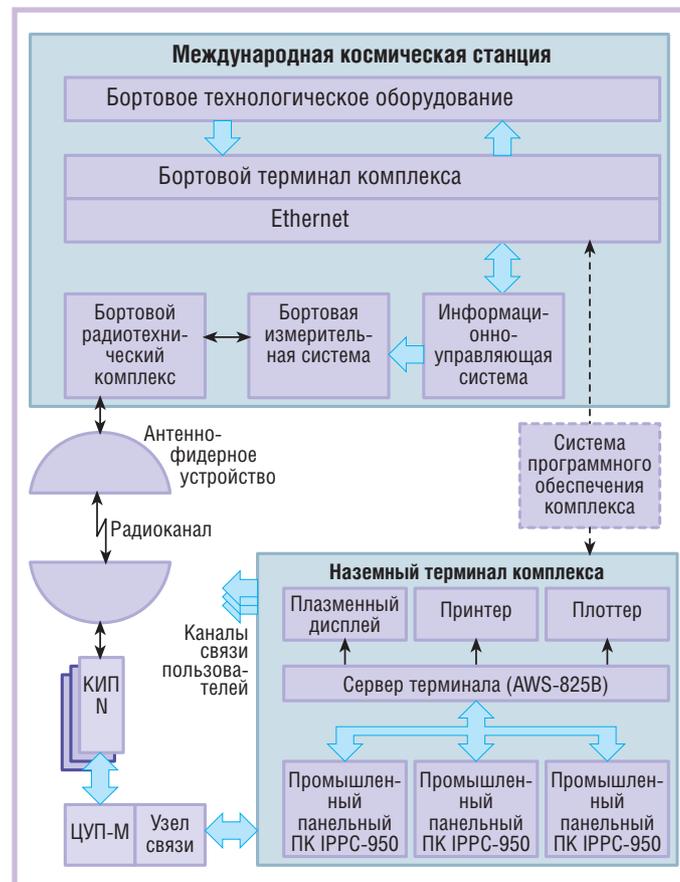


Рис. 3. Комплекс технических и программных средств «космического телесайенса»

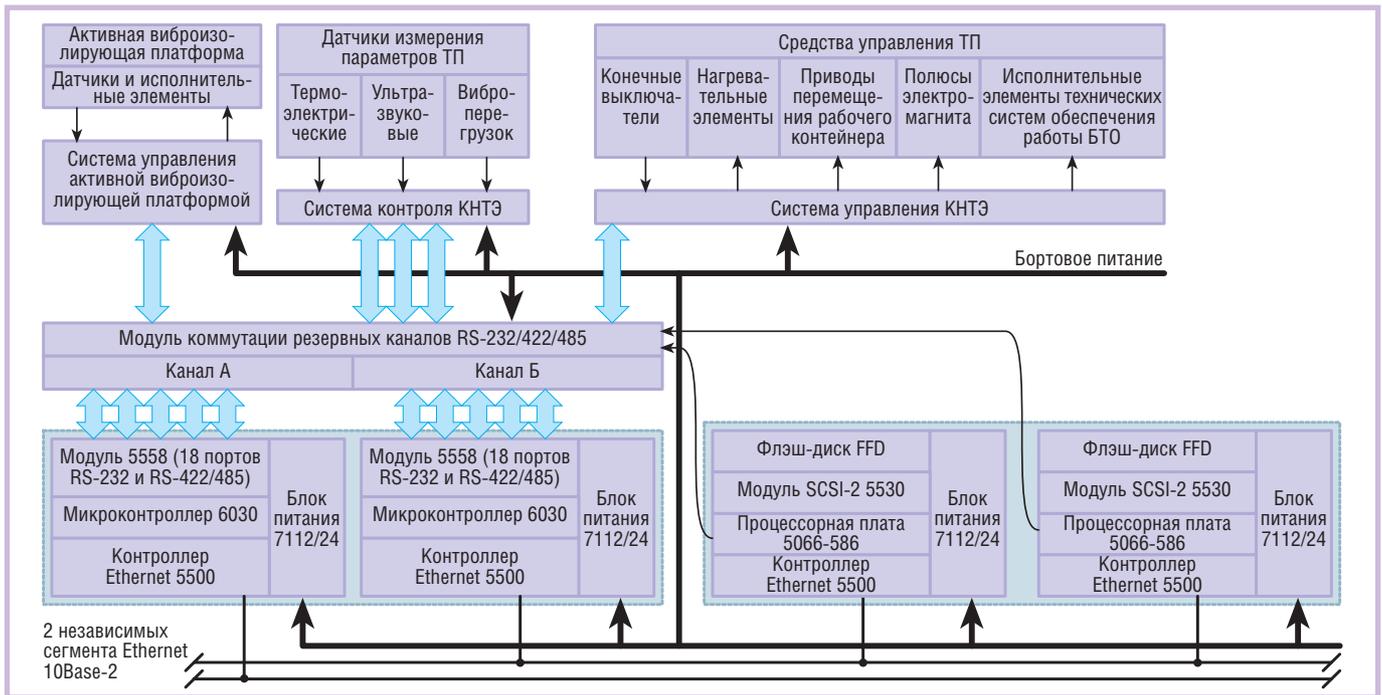


Рис. 4. Структурная схема бортового терминала комплекса

6030 — микроконтроллер с дополнительными последовательными портами;

5500 — контроллер локальной сети Ethernet;

5664 — интерфейсный модуль с подсистемой аналого-дискретного ввода-вывода;

5530 — плата интерфейса SCSI-2;

5558 — высокопроизводительная плата последовательного интерфейса;

7112/24 — блок питания от входного напряжения 9...36 В постоянного тока.

В БТК также используется флэш-диск серии FFD M-Systems с интерфейсом SCSI.

Все платы MicroPC не требуют принудительного воздушного охлаждения и могут устанавливаться в герметизированные корпуса. Для питания достаточно одного источника 5 В серии 7112/24. Независимо от вариантов компоновки аппаратной части используются восьмислотовые монтажные каркасы модели 5278 (4 штуки). Выбранные для реализации терминала аппаратные средства обеспечивают диапазон рабочих температур от -40 до +85°C и устойчивость к вибрациям до 5g и ударам до 20g, что соответствует техническим требованиям к БТК.

В структуре аппаратной части бортового терминала предусмотрено двойное резервирование.

Для построения аппаратной части НТК выбраны промышленная рабочая станция Advantech AWS-825B (сервер

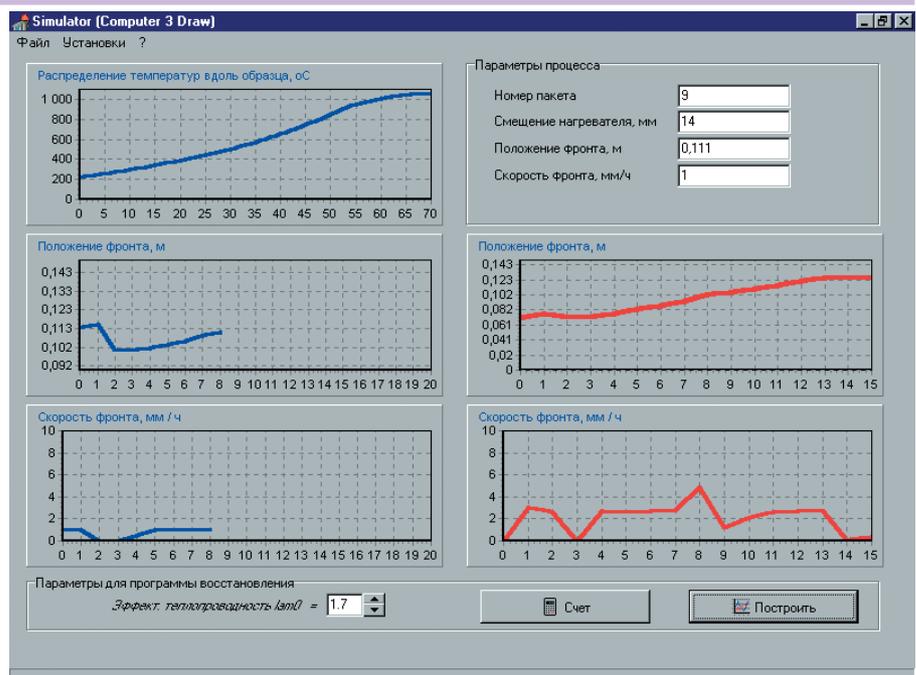


Рис. 5. Графики параметров, получаемых оператором-исследователем в НТК

терминала) и высокоинтегрированные мультимедийные IBM PC совместимые панельные компьютеры IPPC-950 фирмы Advantech, позволяющие решать широкий круг задач в области построения интерфейсов «человек-машина» (HMI) и отличающиеся высокой степенью надежности и защиты (IP65).

Система программного обеспечения комплекса построена на основе принципов и архитектуры SCADA-систем и состоит из средств архивирования, системы визуализации технологических параметров, средств обнаружения аварийных событий и оповещения персонала, средств проектирования в открытом промышленном стандарте, банка

математических моделей технологических экспериментов, библиотеки программных средств пользователя, а также прикладных программных средств наблюдения, управления, обработки и телекоммуникационной поддержки.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА

Работа комплекса осуществляется следующим образом. После загрузки в БТО исследуемых образцов оператором-космонавтом и получения по каналам телеметрии информации о готовности бортового комплекса к проведению экспериментов из НТК подается команда на начало научно-технологиче-

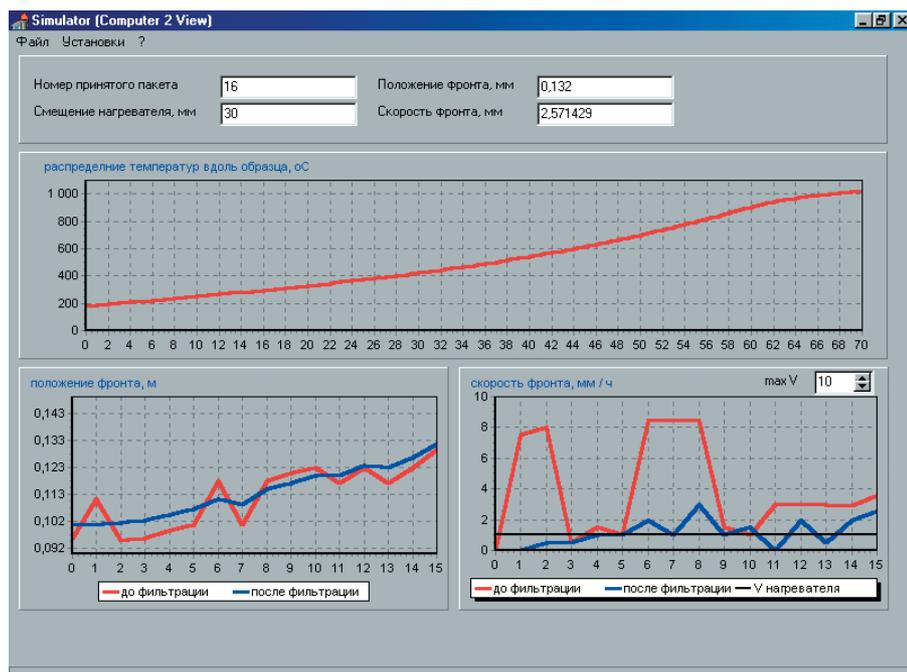


Рис. 6. Графики параметров тепловой зоны технологической установки до и после фильтрации помех каналов связи

ческого эксперимента в автоматическом режиме. При этом происходит самотестирование оборудования, включение нагревателя и выход на заданный режим теплового блока (печи) с исследуемым образцом до полного плавления материала в пределах зоны нагрева, после чего производится кристаллизация образца по заданным технологическим режимам. В процессе проведения эксперимента непрерывно функционирует система оперативного контроля, диагностики и управления ростом кристаллов, использующая сигналы датчиков термометрического, ультразвукового и микродинамического контроля. Одновременно в наземный терминал исследователя передается информация о параметрах КНТЭ: температуре расплава и образца, положении и форме (прогибе) фронта кристаллизации и скорости его перемещения, толщине расплавленного слоя. Передается также информация об уровнях микроускорений на образцах в процессе проведения эксперимента.

По информации, полученной с борта космической станции, в наземном терминале комплекса или у исследователя восстанавливается полная динамика технологического процесса. В результате наблюдения за ходом КНТЭ и анализа получаемых параметров исследователем принимается решение, и через ЦУП-М в бортовой терминал комплекса подаются команды об изменении технологических режимов проведения КНТЭ либо корректируется вся

программа эксперимента, и последующий эксперимент проводится в новых режимах. После проведения экспериментов над всеми образцами оператор-космонавт производит перезагрузку комплектов образцов и сообщает о готовности к проведению на БТО следующей серии научно-технологических экспериментов.

На первом этапе наземных испытаний БТК осуществлялись контроль и управление тремя параметрами конкретной технологической установки: температурой, местоположением и скоростью перемещения фронта кристаллизации.

Рис. 5, 6 отражают результаты испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор и использование инструментальных программных средств разработки и эксплуатации комплекса на базе SCADA-системы, а также применение аппаратных средств фирмы Octagon Systems позволили обеспечить заданные технические характеристики и эффективность выполнения задач при эксплуатации комплекса.

Конструкция комплекса технологична и реализуема. Блочный принцип построения составных частей комплекса обеспечивает их независимое изготовление, испытание, отработку и модернизацию. ●

**Авторы — сотрудники
ФГУП «НИЦ КС», ООО «ИЦ КАЭС»
Телефон/факс: (08439) 426-01**