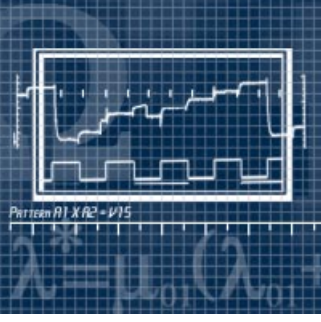




# Автоматизированная система контроля теплопрочностных испытаний продукции

Максим Ананских, Александр Бобров, Андрей Быкадоров,  
Николай Вознесенский, Анна Долгова

Проблема создания автоматизированных систем контроля теплопрочностных испытаний продукции особенно актуальна на предприятиях ракетно-космического комплекса. Постоянно повышаются требования к таким системам по быстродействию, точности, универсальности и функциональной гибкости. В статье описана многоканальная компьютерная система измерения динамически изменяющихся параметров — температуры, силового нагружения, линейных размеров и т.п.

## ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существует большое количество различных ограничений, нормативов, стандартов для материалов, из которых изготавливают те или иные конструкции, сооружения или фрагменты техники. Регламентируются не только граничные величины таких параметров, как допустимые температура эксплуатации и механическое напряжение, но и их градиентные значения. Космический корабль, проходящий через плотные слои атмосферы, взлетающий самолет или ледокол, прорубающий толщу льда, испытывают колоссальные температурные и механические нагрузки. И от того, насколько точно была рассчитана реакция конструкций при возможных пиковых температурах и силовых воздействиях и насколько близки расчетные значения к реальной картине испытаний, напрямую зависит безопасность многих людей. Определить поведение материалов в тех или иных условиях позволяют теплопрочностные испытания (ТПИ). Они, как правило, являются многофакторными испытаниями, при проведении которых к материалу или конструкции прикладываются одновременно несколько типов воздействий: нагрев, силовое нагружение, дав-



Рис. 1. НПО машиностроения внесло заметный вклад в отечественное ракетостроение

ление. Такие испытания позволяют не только определить поведение материала в тех или иных условиях, но и выявить возможные скрытые дефекты, такие как пустоты, образующиеся при литье, или дефекты кристаллической структуры, возникшие при нарушении условий технологического процесса.

НПО машиностроения в подмосковном г. Реутове (рис. 1) является крупным научно-исследовательским центром, одно из направлений деятельности которого посвящено исследованию прочностных характеристик материалов. Это предприятие располагает уникальным экспериментальным оборудованием для наземной отработки ракетно-космической техники, в состав которого входят стенды, обеспечивающие проведение теплопрочностных испытаний крупногабаритных изделий.

Наиболее ответственная часть такого стенда — подсистема воспроизведения температурных полей и градиентов, близких по конфигурации к возникающим в реальных условиях. В соответствии с ожидаемыми условиями эксплуатации производится расчет изменения температуры поверхности изделия во времени. Для воспроизведения профиля температуры на поверхности изделия с заданной точностью разбивают поверхность изделия на определенные участки — зоны нагрева. На каждую зону нацеливается матрица галогеновых ламп (рис. 2), которые запитываются от управляемых источников электроэнергии. Для каждой зоны нагрева задается временная зависимость измене-

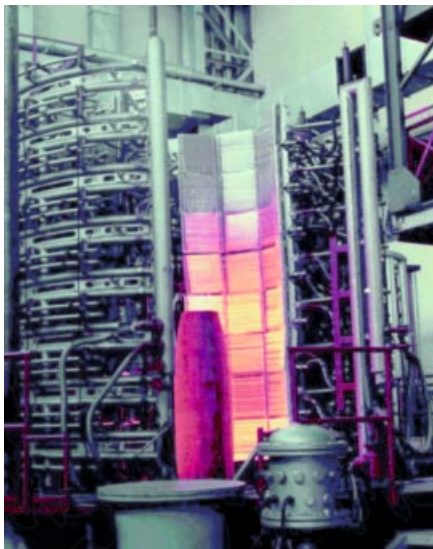


Рис. 2. Стенд для теплопрочностных испытаний: матрицы галогеновых ламп

ния температуры, максимальное значение температуры и скорость нагрева.

Аналогичным образом в зависимости от реальных условий эксплуатации рассчитываются используемые в прочностных испытаниях законы изменения во времени прикладываемых к изделию сил и давлений.

Специалистами НПО машиностроения были разработаны соответствующие методики и предложена структура автоматизированной системы контроля (АСК) теплопрочностных испытаний. В качестве разработчика этой системы, поставщика специализированного оборудования и программного обеспечения выступила фирма Антрел.

Новая разработка заменила морально устаревшую и не удовлетворяющую современным требованиям систему. Ранее результаты испытаний оценивались по графикам, вычерчиваемым самописцами. Для того чтобы контролировать соответствие измеряемых и расчетных параметров, на бумагу для самописцев заранее наносились кривые функциональных зависимостей, согласно которым должны изменяться температура или напряжение материала в определенной зоне испытываемого образца (опорные графики).

Характерной особенностью проводимых на стендах испытаний является высокая динамика изменения контролируемых параметров, чем обусловлены жесткие требования к быстродействию системы. Время реакции системы (промежутки времени от изменения сигнала на входе до отображения на экранах АРМ операторов) должно быть не более 100 миллисекунд при более чем 100 контролируемых входных параметрах.

Образцы, испытываемые в НПО машиностроения, отличаются размерами и материалами, из которых они изготовлены, следовательно, требуют индивидуальных методик испытаний. Таким образом, перед разработчиками встала задача создать универсальную систему, которая могла бы быть легко и быстро переконфигурирована в соответствии с условиями каждого конкретного испытания.

### Структура АСК

В соответствии с поставленными задачами была разработана двухуровневая АСК теплопрочностных испытаний. Структурная схема этой системы представлена на рис. 3. Нижний уровень образует два контроллера сбора данных. Верхний уровень состоит из одиннадцати компьютеров, которые представляют собой АРМ системного оператора, АРМ ведущего оператора, восемь АРМ операторов нагрева и АРМ оператора нагружения (рис. 4). Прием данных от нижнего уровня происходит с помощью последовательного интерфейса RS-485 в ПК системного оператора. На остальные рабочие места данные транслируются через локальную сеть Ethernet.

### Функции, выполняемые АСК

#### Нижний уровень

Контроллер № 1 предназначен для сбора данных с термопар, тензодатчиков, датчиков перемещения и давления, установленных на испытываемом объекте, а также для управления про-

граммируемым калибратором. Роль процессорной платы выполняет микроконтроллер CPU188-5MX фирмы Fastwel. Для ввода аналоговых сигналов в контроллере использованы следующие комплектующие:

- 32-канальный коммутатор аналоговых сигналов AIMUX-32-2 фирмы Fastwel для ввода сигналов от потенциометрических датчиков давления и смещения (на этой плате также расположен датчик для измерения температуры холодного спая термопар);
- 16 изолированных модулей аналогового ввода 5B37 фирмы Analog Devices, установленные на плате 5B02 и предназначенные для преобразования 16 гальванически не связанных общими цепями аналоговых сигналов от хромель-алюмелевых термопар (типа К) в напряжение от 0 до 5 В; с выхода платы 5B02 сигнал поступает на один из входов AIMUX-32-2;
- два 16-канальных изолированных модуля для ввода аналоговых сигналов от термопар; эти адаптеры были специально разработаны для НПО машиностроения фирмой Антрел, поскольку на этом предприятии используются термопары различных типов, в том числе отечественного производства (хромель-копель, вольфрам-рений), которые не поддерживаются стандартизованными зарубежными адаптерами; использование данных устройств позволяет плавно перестраивать шкалу измерения каждого термопарного входа от 10 до 100 мВ индивидуально в про-

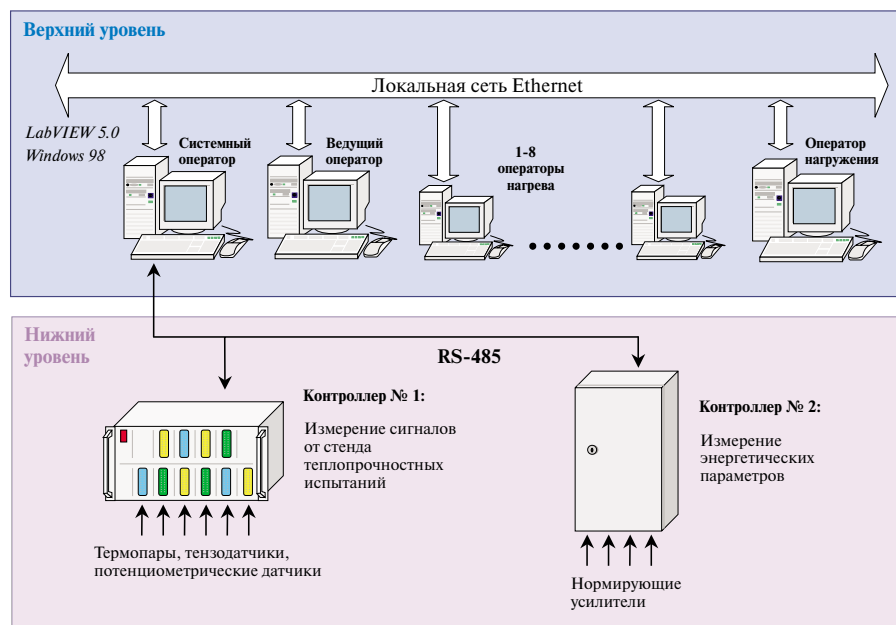


Рис. 3. Структурная схема АСК теплопрочностных испытаний



Рис. 4. Диспетчерский зал отделения теплопрочностных испытаний

цессе калибровки, что минимизирует погрешности;

- четыре модуля нормализации сигналов тензомоста ADAM-3016, подключенные к мультиплексору AIMUX-32;

Контроллер имеет возможность дистанционного управления внешним калибратором измерительных каналов. Точность измерения параметров изделия (температура, давление, нагрузка) — не ниже 0,1%.

Согласно техническому заданию контроллер должен быть установлен в стойку, поэтому для сборки его корпуса был использован приборный конструктив серии Comras и детализовка Евромеханики фирмы Schroff (рис. 5). Это, конечно, дороже, чем использование электротехнического шкафа той же фирмы для размещения узлов контроллера, однако пропорционально стоимости корпуса возросла



Рис. 5. Контроллер № 1 в процессе сборки; корпус Comras, слева направо: планка с выключателем питания, модуль с мультиплексором AIMUX-32, 2 модуля с тензометрическими усилителями ADAM-3016, 16-канальный модуль масштабируемых измерительных преобразователей ADS-mV; за модулями виден одноплатный микроконтроллер CPU188-5MX, источники питания NLP40-7605 и NAL25-7624; сверху оставлено место для установки платы 5B02 с 16 модулями 5B37

и плотность упаковки оборудования в нем.

Для контроллера создано специальное программное обеспечение, реализующее функции опроса всех входных сигналов с заданным периодом, управления внешним калибратором и поддержки специально разработанного протокола обмена с компьютерами верхнего уровня.

Технологический контроллер № 2 предназначен для контроля сигналов управления и мониторинга значений токов и напряжений, поступающих с ртутно-преобразовательной подстанции, осуществляющей питание нагревательных элементов. Данный контроллер построен на базе изделий фирмы Advantech. В его состав входят процессорная плата PCA-6135L, открытый крейт ICP-6006, плата АЦП PCL-813B и модуль преобразователя интерфейса RS-232/485 ADAM-4520. Оборудование собрано в электротехническом шкафу CONCEPTLINE (600 × 400 × 4220) фирмы Schroff (рис. 6).

Специально разработанное программное обеспечение позволяет вести сбор данных со входов АЦП и их усреднение за заданный период времени, а также обмен данными с компьютерами верхнего уровня с помощью протокола обмена, подобного используемому в контроллере № 1.

Все программное обеспечение нижнего уровня написано на языке С.

### Верхний уровень

Программное обеспечение верхнего уровня осуществляет управление про-



Рис. 6. Технологический контроллер № 2

цессом теплопрочностных испытаний изделий, который заключается в одновременном силовом нагружении и нагреве, а также сбор технологических параметров, позволяющих судить о ходе испытаний. В зависимости от сложности и характера испытаний может использоваться от 1 до 8 зон нагрева. В свою очередь, каждая зона может включать от 1 до 12 термопар. Таким образом, каждая зона нагрева характеризуется:

- количеством измеряемых параметров (1-12 термопар);
- номерами каналов, к которым подключены термопары;
- типами термопар;
- опорными графиками для каждой зоны.

В параметрах силового нагружения варьируются количество и типы датчиков давления, перемещения и силы, а

также номера аналоговых каналов, к которым они подключены.

Гибкая настройка системы осуществляется процедурой «Конфигурирование системы», которая обеспечивает создание различных настроечных файлов и их выбор для конкретного испытания. Настроечные файлы хранятся в компьютере системного оператора и считываются оттуда по локальной сети Ethernet при запуске других АРМ.

За операторами системы закреплены различные функции.

1. Системный оператор осуществляет полный контроль испытаний. На экране его компьютера в числовом и графическом виде отображаются все измеряемые параметры. С АРМ системного оператора по локальной сети подаются команды о начале, паузе и окончании испытаний, выполняются настройка системы и архивирование данных.

2. Ведущий оператор осуществляет наблюдение за процессом нагрева. На экране АРМ ведущего оператора в виде графиков отображается протекание процесса нагрева по всем зонам и выполняется контроль соответствия реальных параметров опорному графику нагрева.

3. Оператор нагрева осуществляет наблюдение за процессом нагрева, регулирует ручную скорость нагрева, управляя напряжением, подаваемым на нагревательные элементы, контролирует соответствие процесса испытания опорному графику зоны.

4. Оператор нагружения осуществляет контроль силовых параметров испытаний и ведет нагружение системы в

соответствии с опорными графиками силы и давления по каждому каналу. Рабочий экран оператора нагружения представлен на рис. 7.

Все программное обеспечение рабочих станций создано с помощью пакета LabVIEW 5.0, и работает под управлением операционных систем Windows 98/2000. Выбор данного программного пакета обусловлен тем, что он, обладая гибкостью мощного языка программирования, позволяет разработчику найти оптимальную синхронизацию процессов приема-передачи, обработки и отображения информации в реальном времени, получить эргономичную картину процесса с динамикой изменения, близкой к предельной скорости восприятия оператора. Например, вполне удастся плавная прорисовка нескольких температурных кривых от термопар в поле графика, на которое с опережением в 10 секунд наносится кривая опорного графика из заданного файла; при этом данные от термопар перед отображением проходят полиномиальную линейаризацию. Об универсальности языка программирования LabVIEW можно судить и по тому, что процедуры обмена с контроллерами по RS-485 и между компьютерами верхнего уровня по Ethernet (протокол TCP/IP) были разработаны при помощи только базовых графических операторов языка.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом проделанной работы стала система, удовлетворяющая современным требованиям и реализованная на основе новейшей элементной базы. Это универсальная и легко переконфигурируемая система, позволяющая проводить испытания различной направленности и сложности.

Для того чтобы повысить воспроизводимость испытаний, планируется в ходе дальнейшего сотрудничества доработка существующей системы с целью добавления функции автоматического регулирования мощности, подаваемой на нагревательные элементы и механизмы нагружения. ●

**Авторы — сотрудники НПО машиностроения и фирмы Антрел**  
**Телефоны: (095) 302-3541, 300-8883 (НПО машиностроения), (095) 269-3321, 269-3265 (фирма Антрел)**  
**E-mail: antrel@antrel.ru**  
**http://www.antrel.ru**

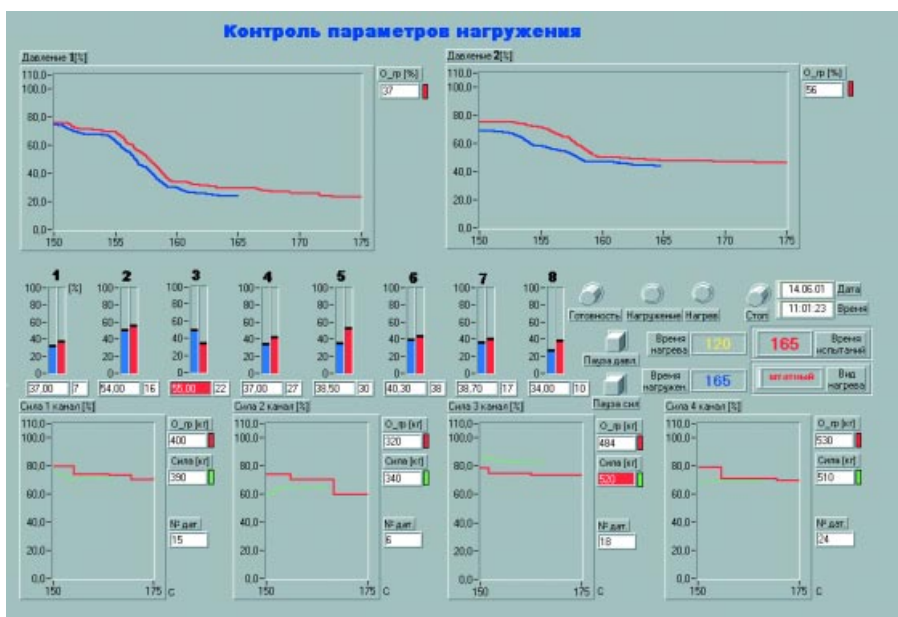


Рис. 7. Рабочий экран АРМ оператора нагружения