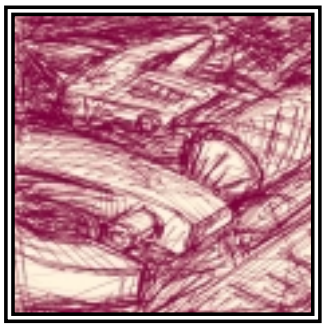


# Система испытаний средств измерительной техники

Ефим Баран, Алексей Ветошкин, Виталий Воронов, Дмитрий Дударев, Андрей Мозгунов

Описан комплекс средств автоматизации операций отладки, регулировки и поверки измерительных устройств, разработанный для обеспечения производства теплоизмерительных систем семейства «Тепло-1».

Для обеспечения производства теплоизмерительных систем семейства «Тепло-1» разработан комплекс средств автоматизации операций отладки, регулировки и поверки измерительных блоков систем.

Теплоизмерительная система (ТИС) представляет собой малогабаритный прибор, предназначенный для измерения скорости движения и температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, вычисления усредненных, интегральных и экстремальных значений объемного и массового расхода теплоносителя, потребляемой тепловой мощности и энергии. Контролируемые теплосчетчиком процессы сравнительно медленные и характеризуются сигналами с частотной полосой до 10 Гц при максимальной амплитуде сигналов от датчиков расхода электромагнитного типа до сотен микровольт.

К теплосчетчику предъявляются достаточно жесткие требования по надежности – система должна функционировать непрерывно в течение по крайней мере одного отопительного сезона, при этом условия эксплуатации отличаются повышенными значениями температуры и влажности окружающей среды.

В этой связи понятна необходимость проведения тщательных и продолжительных (в течение нескольких суток) испытаний составных частей и системы в целом. Имеющееся оборудование позволило достаточно просто автоматизировать контроль цифровых узлов теплосчетчика – контроллера и модуля индикации. Автоматизация контроля характеристик и поверки аналоговых узлов: модуля измерения расхода, модуля измерения температуры, модуля АЦП, – а также необходимость проведения комплексных испытаний систем потребовали создания специализированных средств с соответствующими метрологическими характеристиками.

Системы контроля модулей построены на базе универсального стенда, основой которого является блок формирователей образцовых тестовых сигналов и образцовых средств измерений, в качестве которых выбраны изделия семейства MicroPC фирмы Octagon Systems. Выбор элементной базы обусловлен

- широкой номенклатурой модулей семейства – от контроллеров до достаточно точных устройств аналогового ввода-вывода,
- простотой компоновки систем из этих модулей,
- полной совместимостью с архитектурой персональных компьютеров IBM PC,
- высокой надежностью,
- малыми размерами и удобным конструктивом.

Функции формирования тестовых сигналов и измерения реакций испытуемых устройств возложены на плату аналогового ввода-вывода типа 5700, которая содержит блок аналого-цифрового преобразования, блок цифро-аналогового преобразования и блок цифрового ввода-вывода.

Результаты экспериментальных исследований нескольких экземпляров 5700 подтвердили паспортные данные цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей. Более того, дифференциальная нелинейность характеристик этих устройств, которая является определяющей в реализованных методиках контроля, не превышает 0,004 %, смещение нуля ЦАП не превы-



(C) 1997 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



**Рис. 1. Стенд контроля средств измерительной техники**

шает единицы дискретности. При этом нестабильность смещения нуля по крайней мере в течение 8 часов не превышает 0,1 мВ. Погрешности нуля и масштаба АЦП могут периодически корректироваться. Характеристики модуля практически не изменились при повторной проверке через полгода. Полученные результаты дают основания говорить о наличии предпосылок для создания на основе модуля 5700 автоматизированных средств поверки аналоговых и аналого-цифровых устройств класса 0,02.

В состав испытательного стенда входят также контроллер 5025A и адаптеры испытуемых устройств, выполненные на базе конструктивов ТИС «Тепло-1», и персональный компьютер IBM PC, на который возложены функции интерфейса с оператором и общего управления процессом испытаний. Внешний вид стенда показан на рис. 1.

## Контроль модулей измерения расхода

Упрощенная структурная схема стенда показана на рис. 2. Испытуемый модуль (FM) состоит из низкочастотного усилителя переменного тока (>), формирователя импульсов возбуждения индуктора датчика расхода и устройства компенсации динамического смещения нуля датчика (ZC).

В реализованном варианте системы производится контроль следующих характеристик модуля:

- коэффициента усиления;
- коэффициента нелинейности усилителя;
- динамического смещения нуля, приведенного ко входу усилителя;
- среднеквадратического значения шумов, приведенного ко входу усилителя;
- коэффициента подавления синфазного сигнала.

Входы усилителя испытуемого модуля расхода FM подключаются к источнику тестовых сигналов (цифро-аналоговым преобразователям DAC0 и DAC1 модуля 5700) через согласующий делитель (1/K) адаптера. Выход усилителя - через элемент защиты (**Δ**) к одному из входов аналого-цифрового преобразователя (ADC). Кроме того, с помощью цифрового порта (Port0) осуществляется управление схемой компенсации динамического смещения нуля датчика. Персональный компьютер IBM PC, соединенный с блоком MicroPC через последовательный порт COM1, обеспечивает загрузку программы, настройку режимов контроля, прием результатов измерений, их обработку и отображение.

В общем случае реализуется следующая последовательность контроля модуля FM.

Вначале определяется смещение нуля усилителя. Для этого на его входы подается напряжение, равное нулю, а на вход управления схемы коррекции смещения нуля – последовательность импульсов заданного периода T. Результаты измерений выходного сигнала усилителя усредняются для положительной и отрицательной полуволн периода управляющего импульса, а значение динамического смещения нуля вычисляется как разность соответствующих усредненных амплитуд.

Затем снимается сигнал управления T и производится оценка среднеквадратического значения собственных шумов усилителя.

Для определения коэффициента усиления усилителя на его входы от модуля 5700 подаются парафазные последовательности импульсов образцового напряжения с изменяющимися в заданном диапазоне и с заданным шагом значениями амплитуды, периода, скважности. Тем самым имитируются сигналы датчика расхода при различных параметрах режима возбуждения


(C) 1997 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

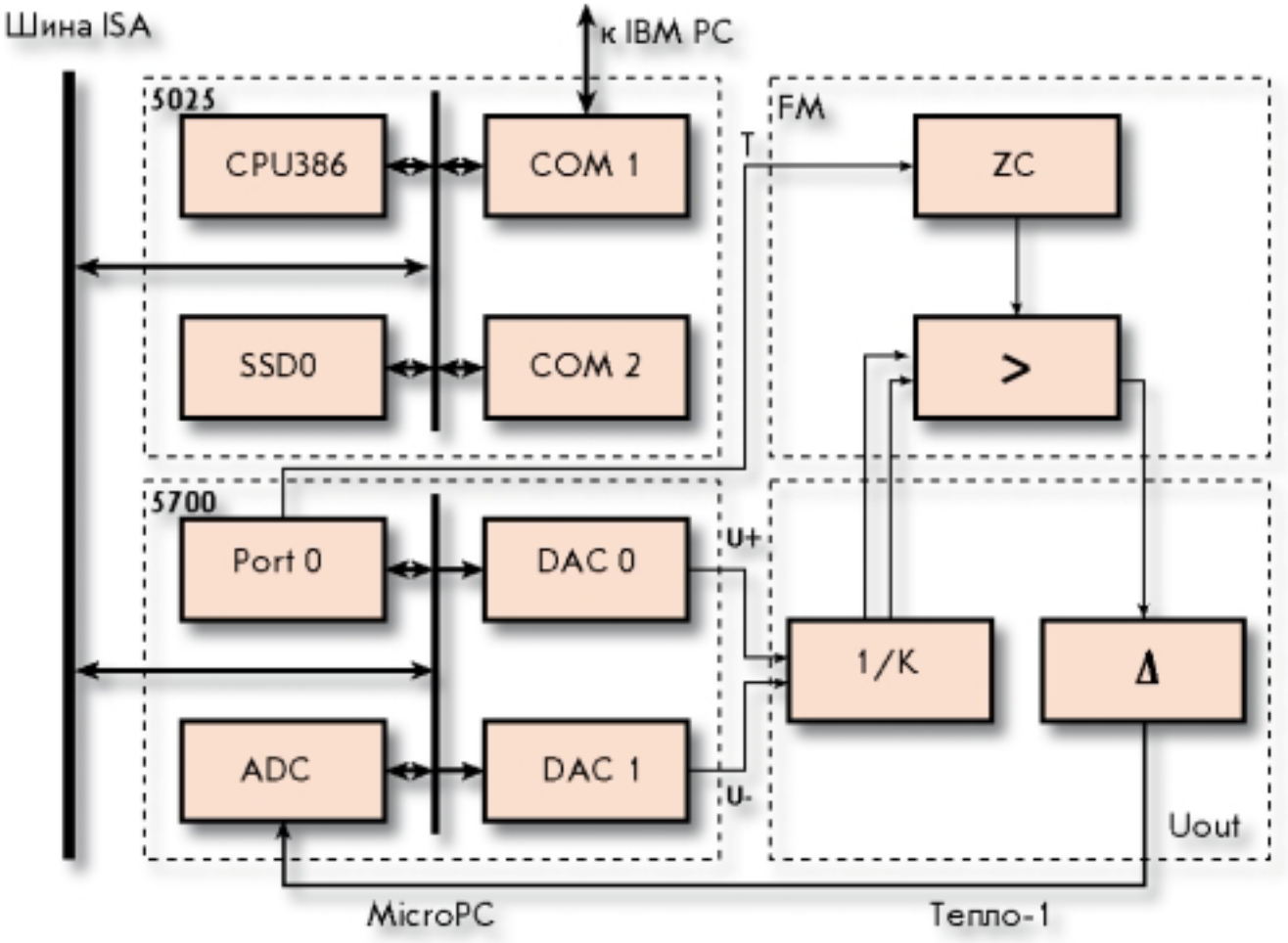



**Рис. 2. Контроль модулей измерения расхода**

индуктора и различных характеристиках датчиков. При этом формируется импульс управления для схемы коррекции смещения нуля. Выходной сигнал усилителя обрабатывается так же, как и при определении смещения. Приведенные ко входу значения смещения нуля и шумов рассчитываются с учетом полученных результатов измерений.

В режиме контроля коэффициента подавления синфазных помех на оба входа дифференциального усилителя подается одна и та же последовательность импульсов фиксированной амплитуды, значение которой может быть задано оператором.

На время затухания переходных процессов в испытуемом устройстве, вызванных изменением параметров тестового сигнала, вводится задержка измерений. Проведение серии измерений при фиксированных параметрах сигнала позволяет снизить случайную составляющую погрешности оценки характеристик объекта, обусловленную его собственными шумами и дискретностью преобразования аналоговых величин.

Результаты обработки могут быть сохранены в файле и представляются оператору в графическом и численном форматах. По окончании экспериментов формируется протокол испытаний.

Время контроля одного модуля измерения расхода зависит от параметров тестовых сигналов и режимов измерений (шага изменения амплитуды тестовых импульсов, объема выборки при усреднении и т. п.) и обычно не превышает 10 минут. В процессе контроля возможна регулировка параметров модуля для достижения требуемых значений в соответствии с техническими условиями. И контроль, и регулировка могут выполняться персоналом с низкой квалификацией.

Гибкость задания параметров тестовых сигналов и возможности варьирования режимов измерения обеспечивают условия для применения системы в процессе экспериментальных исследований различных аналоговых устройств соответствующего класса.

## Контроль модулей измерения температуры

Модуль обеспечивает измерение значений температуры от двух термометров сопротивлений (медных или платиновых), а также разности температур. Измеряется падение напряжения на терморезисторе от источника стабильного тока, а для разности температур, соответственно, – разность падений напряжений на двух терморезисторах. Этот модуль отличается от модуля измерения расхода применением усилителей постоянного тока с существенно меньшим коэффициентом усиления и отсутствием схемы компенсации динамического смещения нуля.

Контролируются следующие характеристики модуля:

- разности токов от источников стабильного тока;
- отклонение тока от номинального значения;
- выходной ток отключенного источника;
- коэффициенты усиления полезного сигнала каналами напряжений;



(C) 1997 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

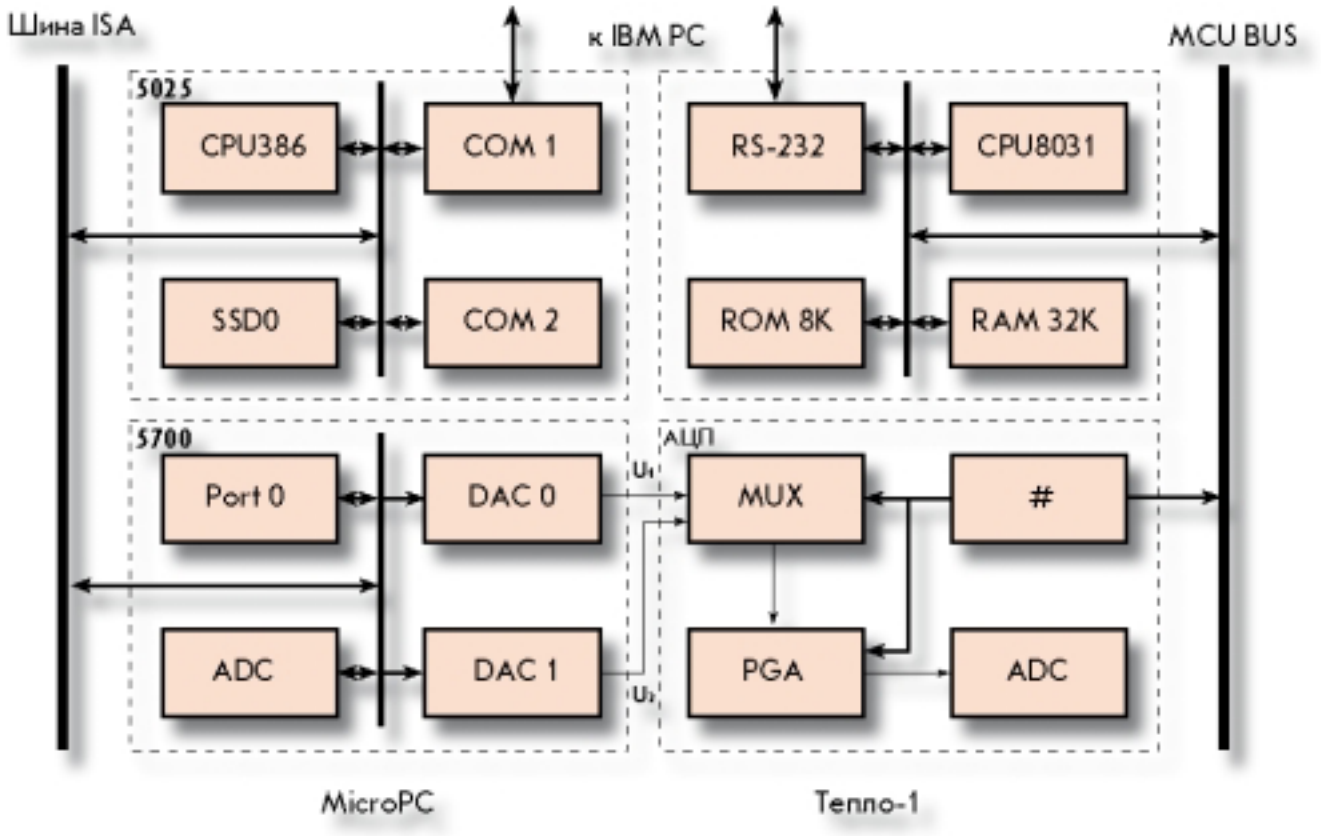



**Рис. 3. Контроль модулей АЦП**

- коэффициенты подавления синфазной помехи каналами напряжений.

Структурная схема системы подобна приведенной на рис. 2 и отличается использованием большего количества каналов АЦП (6), а также принципом формирования тестового сигнала – ко входу каждого из каналов измерения температуры подключен соответствующий цифро-аналоговый преобразователь. Кроме того, адаптер содержит образцовые резисторы для преобразования контролируемых токов в напряжения и устройства вычитания/усиления для получения заданной разрешающей способности при контроле токов. Система обеспечивает контроль перечисленных параметров с точностью, гарантирующей достижение погрешности измерения температуры не хуже 0,05° С.

## Контроль модулей АЦП

Тестируемый модуль представляет собой 10-разрядный АЦП поразрядного взвешивания с временем преобразования 50 мкс и основным пределом преобразования ± 5 В. Модуль содержит коммутатор преобразуемых аналоговых сигналов (MUX), программируемый усилитель (PGA) и интерфейсный блок (#).

Обеспечивается масштабирование входного сигнала с коэффициентами ×1, ×2, ×4, ×8 по любому из 8 каналов.

Упрощенная структурная схема системы контроля приведена на рис. 3.

Блок MicroPC в соответствии с заданным режимом испытаний формирует образцовые напряжения U1, U2 для канала АЦП. Настройка АЦП на заданный масштаб и управление запуском в соответствии с требуемой временной диаграммой осуществляется контроллером теплосчетчика MCU, для которого разработана специальная программа тестирования АЦП. Управление блоком MicroPC и контроллером MCU производится из персонального компьютера через последовательные порты.

Программное обеспечение системы предусматривает возможность настройки на испытания других разновидностей АЦП. Для этого формируется файл проекта, в котором содержится описание основных характеристик АЦП: диапазон преобразуемых напряжений, количество разрядов, количество и значения пределов преобразования, по которым определяются параметры настройки системы, режимы управления объектом и др.

Контролируются следующие характеристики модуля АЦП:

- смещение нуля;
- погрешность масштаба;
- погрешность от дифференциальной нелинейности характеристики преобразования;
- среднеквадратическое значение шумов.

Смещение нуля АЦП определяется как среднее значение выходного кода при многократном сканировании входного напряжения в окрестности нуля. Затем в соответствии с указанными в файле проекта параметрами и с учетом реального смещения нуля определяется погрешность масштаба, для этого производится сканирование входного напряжения в крайних точках диапазона. Погрешность от дифференциальной нелинейности характеристики преобразования и среднеквадратическое значение шумов вычисляются в процессе сканирования входного напряжения по всему диапазону.

Результаты обработки могут быть сохранены в файле и представляются оператору в численном и графическом форматах: на экран выводятся количественные оценки смещения нуля и среднеквадратического значения шумов, приведенных ко входу, значений приведенных погрешностей масштаба и


(C) 1997 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

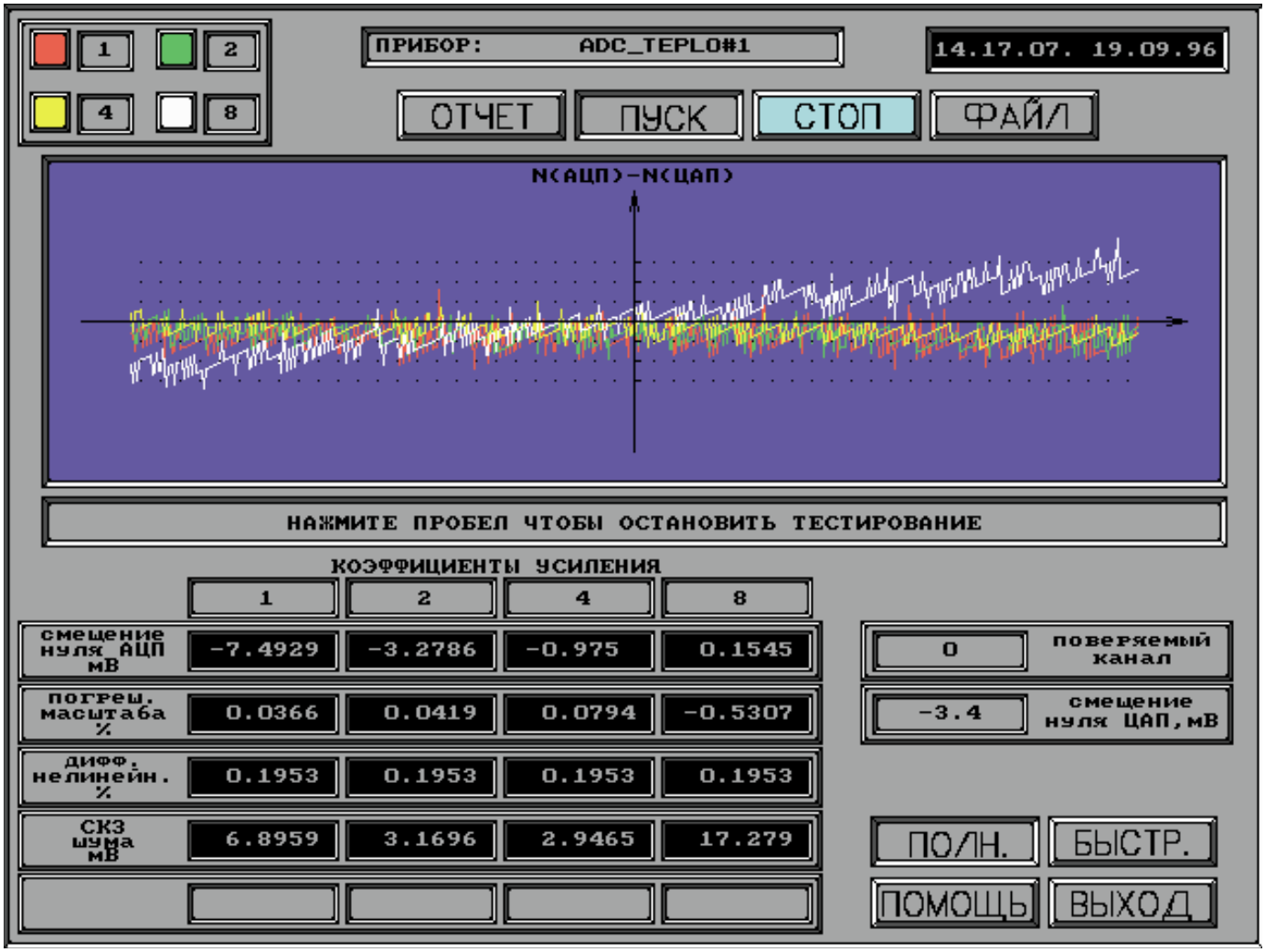



**Рис. 4.Панель системы контроля и поверки АЦП**

нелинейности. В отдельном окне отображаются графики абсолютной погрешности преобразования при всех значениях тестового сигнала для выбранных пределов и каналов АЦП. Наглядная графическая форма представления суммарной погрешности существенно облегчает регулировку параметров с целью достижения требуемых показателей. Время испытаний по всем четырем диапазонам не превышает 10 минут.

Высокие метрологические характеристики платы 5700, гибкость и универсальность программного обеспечения позволяют достаточно быстро адаптировать систему для контроля модулей и микросхем одно- и двуполярных АЦП с последовательным или байтовым параллельным портами при количестве разрядов от 8 до 13 и количестве диапазонов до пяти.

Интерфейс оператора системы реализован в виде рабочих панелей, на которых представлены основные органы управления, табло для числовых значений вводимых и измеренных параметров, дисплейные окна для графического представления результатов контроля, вывода подсказок и информационных сообщений оператору. На рис. 4 показана панель системы контроля АЦП. Наглядность представления результатов испытаний существенно облегчает их интерпретацию, что в совокупности с предельной простотой управления системой снижает требования к квалификации обслуживающего персонала и способствуют уменьшению продолжительности испытаний и времени регулировок при настройке.

## Заключение

Более чем полугодовой опыт применения систем продемонстрировал их высокую эффективность:

- увеличились полнота и достоверность контроля ТИС;
- повысилась надежность модулей и ТИС в целом;
- существенно уменьшилось время регулировки и поверки модулей ТИС;
- снизились требования к квалификации персонала, занятого производством и обслуживанием ТИС.

Первые же результаты контроля модулей заставили обратить внимание на некоторые их схемотехнические и технологические недостатки, после устранения которых удалось улучшить метрологические характеристики ТИС. Системы применяются также при экспериментальных исследованиях вновь проектируемых устройств различного назначения, что, несомненно, способствует сокращению сроков разработки и внедрения в производство новых приборов и систем, повышает их качество и надежность. ●



(C) 1997 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru