

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-



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 проверки аналоговых и аналого-цифровых устройств класса 0,02.

В состав испытательного стенда входят также контроллер 5025А 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 ин-

дуктора 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/К) 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 ре-

жимов 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

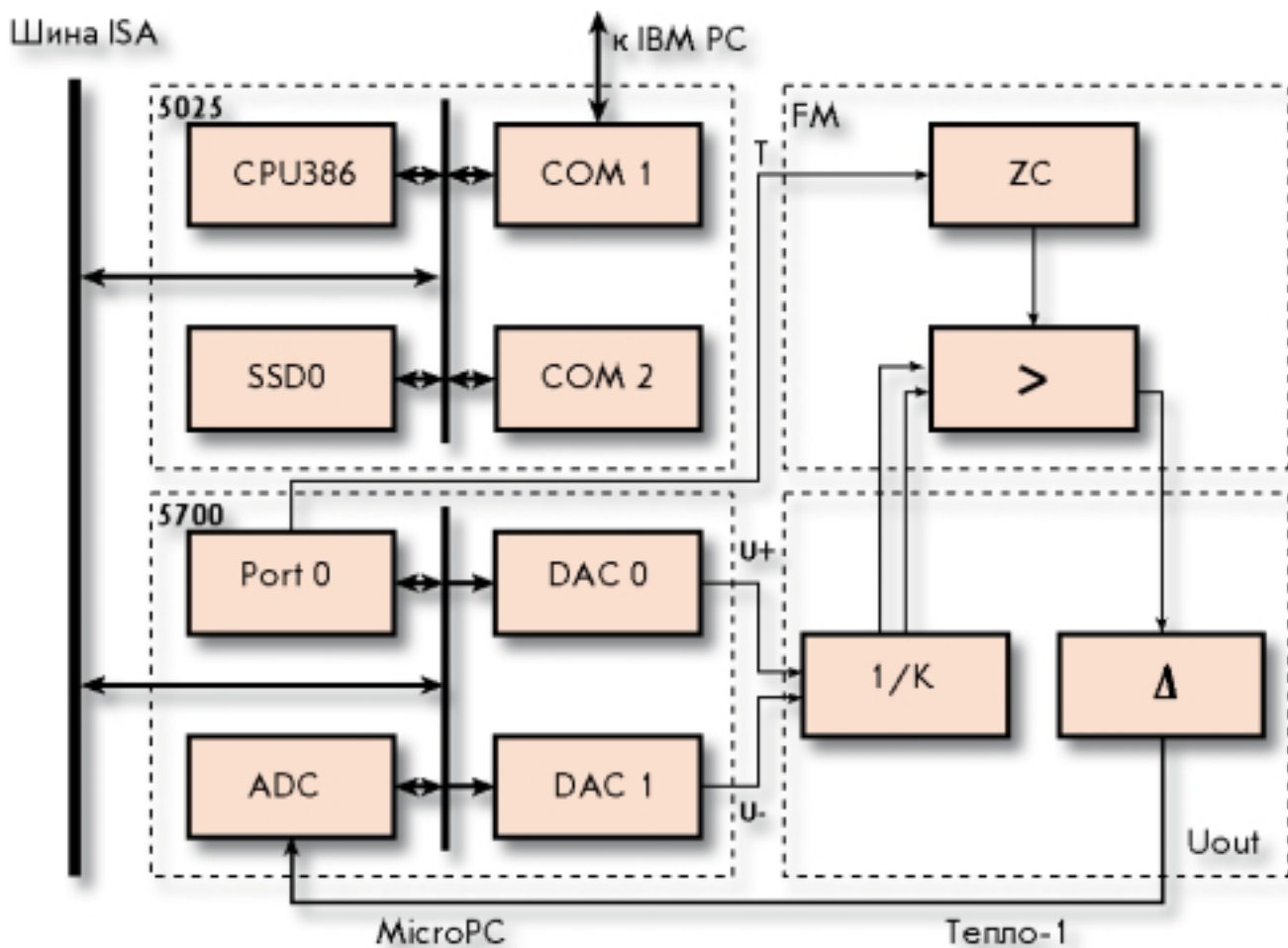


Рис. 2. Контроль модулей измерения расхода

индуктора и различных характеристик 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;

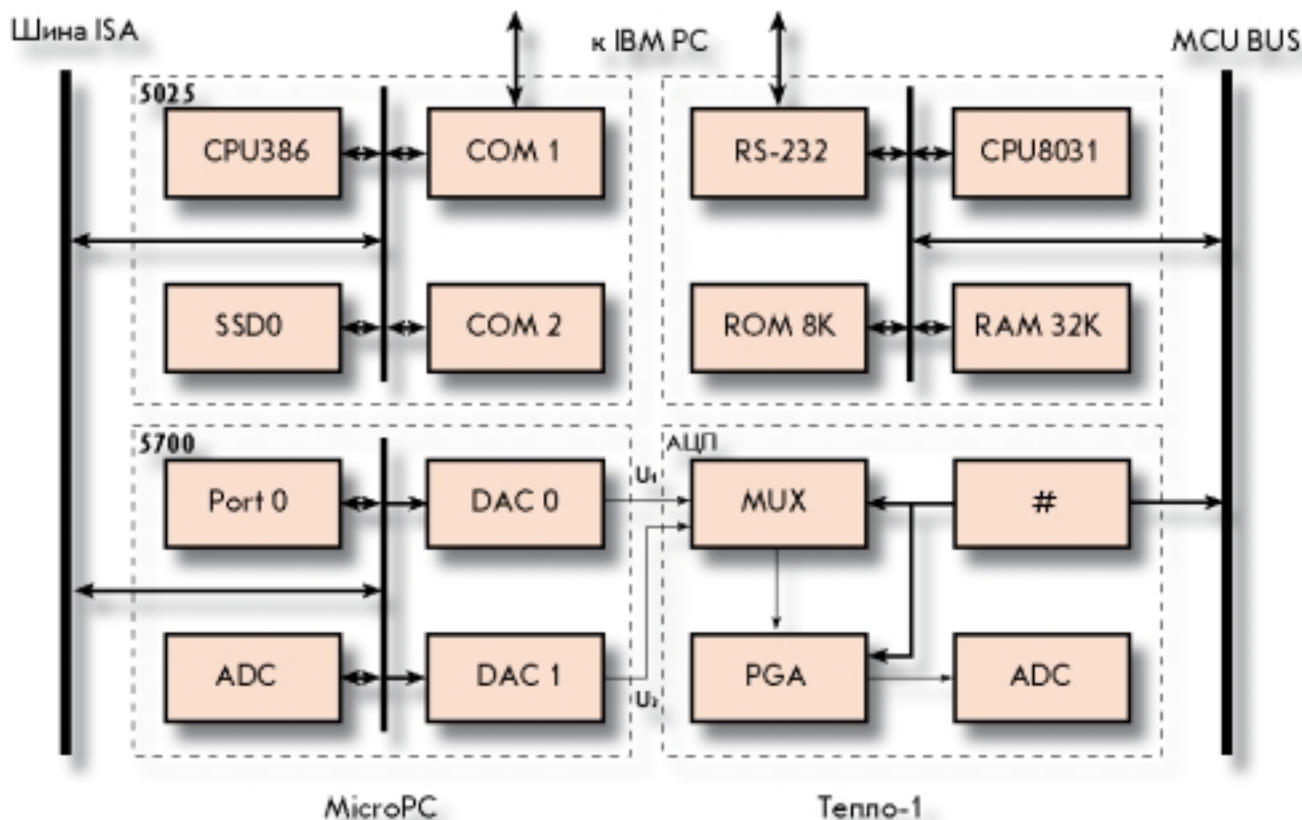


Рис. 3. Контроль модулей АЦП

- 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 $0,05^\circ\text{C}$.

Контроль модулей АЦП

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

Обеспечивается масштабирование входного сигнала с коэффициентами $\times 1, \times 2, \times 4, \times 8$ 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 U_1, U_2 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

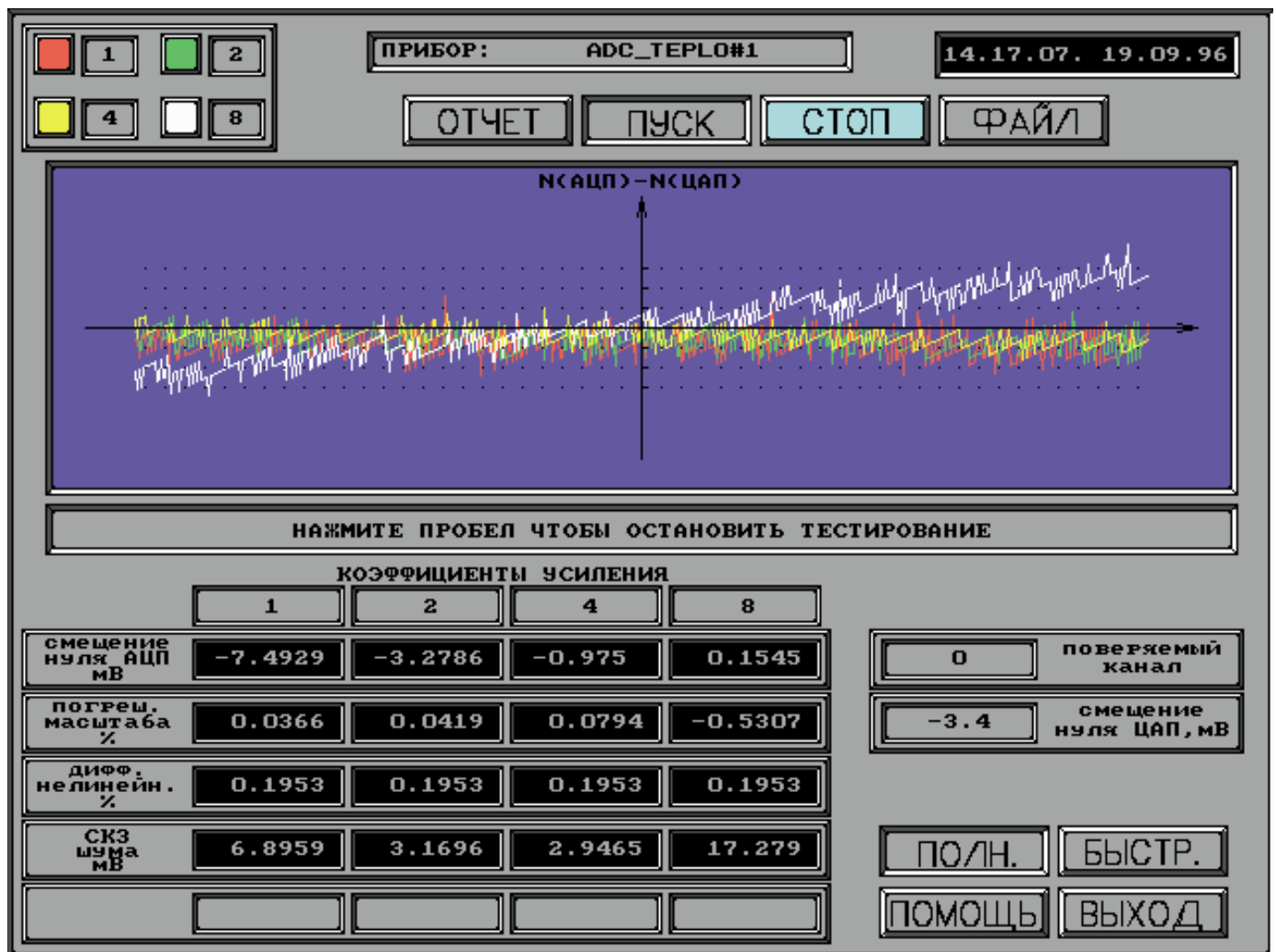


Рис. 4. Панель системы контроля и поверки АЦП

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:

- увеличилась 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. ●