

УДК 681.586

А.Г. БУРЯЧЕНКО, В.М. ГРУДИНКИН

ОАО «Элемент», Одесса, Украина

## СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ УГЛА ПОВОРОТА ВАЛА ДБСКТ С ВСТРОЕННЫМ КАЛИБРАТОРОМ – РАЗРАБОТКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Отражены основные требования к системе измерений угла поворота вала ДБСКТ, обеспечивающей наземный предполетный контроль и калибровку бортовых датчиков угла входных направляющих аппаратов и угла  $\alpha$ -РУД. Освещены проблемные вопросы, возникшие при разработке и обеспечении государственной метрологической аттестации системы, и пути их решения. Приведены результаты эксплуатации первого поколения системы на ОАО «Мотор Сич», ГП «Ивченко-Прогресс» и ГП АНТК им. Антонова в течение 10 лет и описана недавно созданная система второго поколения.

**Ключевые слова:** бортовые датчики, синусно-косинусные трансформаторы, наземный предполетный контроль, погрешность измерений, метрологическая аттестация, встроенное программное обеспечение, имитатор, временная стабильность, дисплей, аналоговый выход.

### Введение

Дублированные синусно-косинусные трансформаторы (ДБСКТ), выпускаемые по техническим условиям 6С3.019.055 ТУ, традиционно используются в качестве бортовых датчиков углов входных направляющих аппаратов и углов  $\alpha$ -РУД. При подготовке к полету в наземных условиях необходимо выполнять контроль показаний и установку нуля (точки отсчета) ДБСКТ, для чего надо обеспечить по каждому из двух каналов датчика:

– питание ДБСКТ переменным напряжением 6 В, 2 кГц;

– измерение и обработку по заданному алгоритму двух выходных сигналов ДБСКТ – так называемых синусного и косинусного напряжений  $U_{\sin}$  и  $U_{\cos}$ .

Перед разработчиками ОАО «Элемент» (головная организация Минпромполитики по направлению «Электронные системы измерения, контроля параметров и управления авиационными двигателями», разработчик комплектующих изделий авиационной техники) была поставлена задача создать малогабаритную переносную систему, которая бы обеспечила оперативный, надежный контроль и калибровку ДБСКТ в наземных условиях без применения дополнительных приборов и оборудования, снизила бы длительность и трудоемкость указанных операций.

Одним из требований было также обеспечение первичной государственной метрологической аттестации [1] и последующих проверок системы.

В настоящее время образцы первого поколения созданной системы контроля углового положения

вала ДБСКТ – СКУП-1 и СКУП-1М – успешно эксплуатируются на ряде авиапредприятий Украины и России. Недавно завершена модернизация системы, создана система СКУП-1МИ (рис. 1), имеющая:

– сниженные массо-габаритные показатели и повышенную надежность за счет использования новой элементной базы;

– встроенный калибратор (имитатор сигналов ДБСКТ), который для первого поколения представлял собой отдельный блок, сравнимый по размерам с самой системой.



Рис. 1. Система контроля углового положения вала ДБСКТ – СКУП-1МИ

### Формулирование проблемы

При разработке была поставлена задача создать малогабаритную систему, способную обеспечить:

• работу с тремя типами ДБСКТ (ДБСКТ-250, -650, -1250), отличающимися по диапазонам измерений;

• питание ДБСКТ, измерение и обработку его сигналов  $U_{\sin}$  и  $U_{\cos}$  по каждому из двух каналов с определением фазы сигнала;

- вычисление значений угла отклонения от нулевого положения вала для каждого из двух каналов по формуле (1) с учетом знака («плюс», «минус») и вычисление разности показаний 1-го и 2-го каналов:

$$\alpha = \arctg \left( \frac{U_{\sin}}{U_{\cos}} \right); \quad (1)$$

- индикацию вычисленных значений угла и разности показаний на дисплее системы и выдачу информации о них в систему регистрации в аналоговом виде согласно заданной функции преобразования;

- самотестирование и выдачу сообщений о неисправностях.

Кроме того, требовалось разработать методику метрологической аттестации (поверки) и средства поверки разрабатываемой системы.

Пределы допускаемой погрешности системы в диапазоне измерений угла от минус 180 до +180° согласно техническому заданию составляли  $\pm 0,5^\circ$ .

### Решение проблемы

Первый опыт ОАО «Элемент» по созданию системы, выполняющей перечисленные выше функции, относится к концу 90-х годов прошлого века, когда на предприятии была разработана, изготовлена, прошла необходимый комплекс испытаний и государственную метрологическую аттестацию система СКУП-1 (включающая модификацию СКУП-1М), вошедшая в перечень приборов и оборудования, используемых при изготовлении и обслуживании в эксплуатации ряда авиадвигателей.

Первоначально проверка метрологических характеристик системы проводилась с подключенным датчиком ДБСКТ (поочередно подключались датчики трех типов) на специально разработанном, изготовленном и аттестованном в Госпотребстандарте механическом прецизионном стенде (рис. 2).

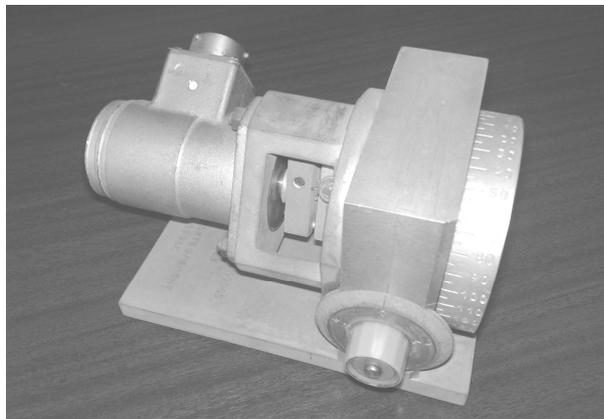


Рис. 1. Механический прецизионный стенд с установленным датчиком ДБСКТ

Но использование упомянутого стенда, хотя и обеспечивало проверку системы в реальных условиях, однако, было сопряжено с рядом существенных неудобств:

- стенд является относительно металлоемким и сложным в изготовлении;

- при поверке стенда необходимо использовать оборудование, доступное только для специализированных метрологических лабораторий;

- для поверки СКУПа на стенде необходимо наличие датчиков трех типов, кроме того, следует сначала определить погрешность каждого датчика без СКУПа, измеряя выходные сигналы вольтметром и производя вычисления по заданной программе.

Было очевидно, что предлагать потребителям такую методику поверки нерационально. Поэтому для обеспечения поверок был разработан специальный имитатор ДБСКТ – весьма компактный и легкий электронный блок, который подключается к СКУП-1 (СКУП-1М) штатным кабелем, используемым для подключения ДБСКТ, запитывается от СКУПа и позволяет задавать сигналы, соответствующие определенным значениям угла, с помощью переключателя (два других переключателя задают тип ДБСКТ и знак угла). Задаваемые сигналы контролируются стандартным вольтметром, который, собственно, и является рабочим эталоном при поверке.

Первоначально были проведены тщательные сравнения результатов проверок на механическом прецизионном стенде и на имитаторе ДБСКТ. В настоящее время механический стенд используется как вспомогательное средство при дополнительных проверках у изготовителя. На предприятиях, эксплуатирующих системы, поверки и оперативный контроль проводятся с помощью имитатора.

Более полутора десятков СКУП-1 и СКУП-1М используются около 10-ти лет на ОАО «Мотор Сич», ГП «Ивченко–Прогресс», ГП АНТК им.Антонова, ОАО «ВАСО». За весь период не было зарегистрировано ни одного выхода системы из строя. Ежегодно проводимые поверки свидетельствуют о стабильности параметров системы во времени, а также о высоких показателях временной стабильности изготовленных экземпляров имитатора ДБСКТ. Типичные значения погрешности, систематически регистрируемые при поверках в течение 10 лет эксплуатации изготовленных экземпляров:

- СКУП-1, -1М –  $\pm 0,1^\circ$ ;
- имитатора –  $\pm 0,03 \dots 0,05^\circ$ .

Но следует отметить, что изготовление имитаторов, обеспечивающих необходимую точность, требовало тщательного подбора большого количества прецизионных резисторов при настройке, что делало процесс весьма трудоемким.

С учетом данных эксплуатации и появления новых комплектующих – радиоэлектронных компонентов с расширенными функциями и повышенной степенью интеграции – была проведена работа по модернизации системы, в результате которой разработана система СКУП-1МИ со встроенным имитатором ДБСКТ, причем требующим меньших трудозатрат при изготовлении.

Структурная схема СКУП-1МИ показана на рис. 3.

Напряжения  $U_{sin}$  и  $U_{cos}$  с выходных обмоток ДБСКТ поступают на входные формирователи и через многоканальный аналоговый коммутатор подаются одновременно:

- на компаратор, где выполняется определение фазы каждого сигнала;
- на однополупериодный выпрямитель.

С выпрямителя напряжения поступают на быстродействующий аналого-цифровой преобразователь (АЦП) интегрирующего типа, где кодируются. Затем сигналы в кодовом виде передаются на однокристалльный микроконтроллер Atmega 64 (ОМК). На ОМК также поступают сигналы с компаратора. Омк через порты ввода-вывода формирует сигналы управления клавиатурой, жидкокристаллическим индикатором (ЖКИ), цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП) аналоговых выходов, а также обоими каналами встроенного имитатора ДБСКТ.

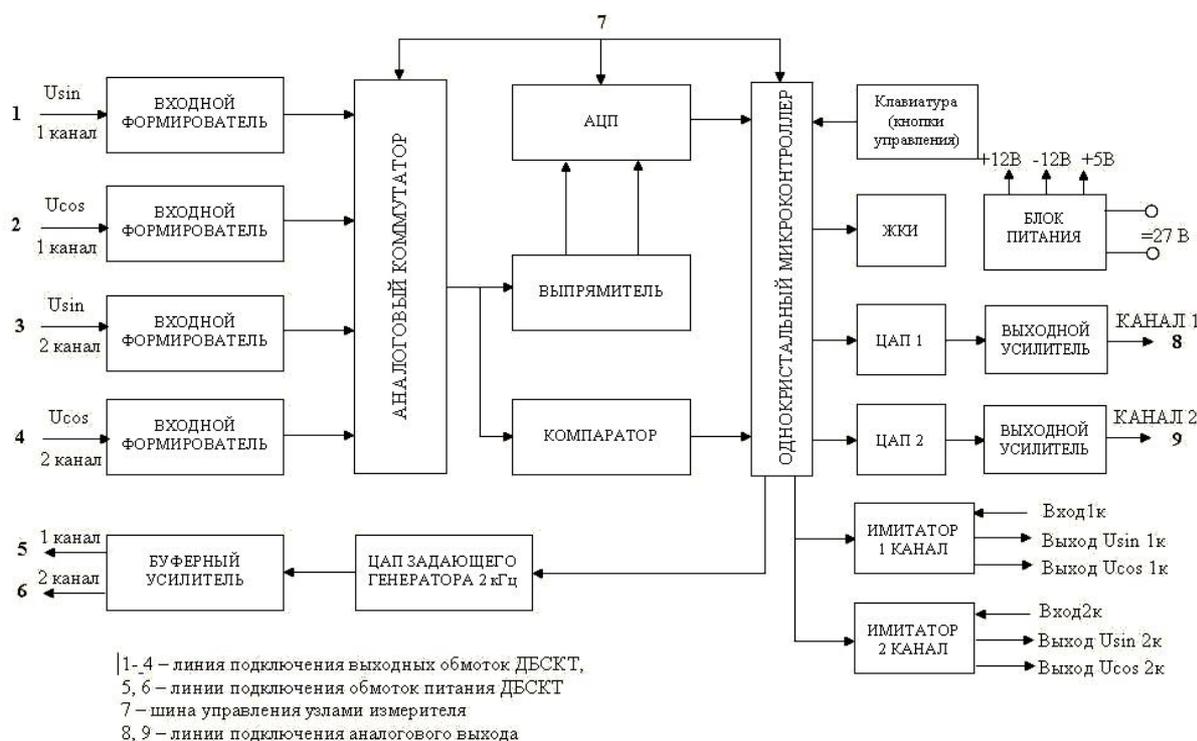


Рис. 3. Структурная схема системы СКУП-1МИ

Управление всеми узлами изделия, проведение вычислений и тестирование выполняется специально разработанным на ОАО «Элемент» встроенным программным обеспечением Омк.

Достаточно высокая точность достигается за счет использования современных электронных компонентов, но требует также относительно продолжительного периода измерений – около 0,5 с, что, разумеется, вполне приемлемо для прибора такого назначения (контроль и калибровка в наземных условиях), но может ограничить использование той же элементной базы и принципов построения схемы для аналогичного прибора расширенной функциональной направленности. Таким образом, вопрос о повышении быстродействия при сохранении точности измерений может рассматриваться как перспективное направления по расширению функциональ-

ности системы.

Встроенный имитатор ДБСКТ выполнен на базе современных цифро-аналоговых преобразователей фирмы Analog Device, обладающих высоким быстродействием и разрешающей способностью. Выходные цепи имитатора изолированы от измерительных цепей посредством трансформаторов, имитирующих цепи датчиков ДБСКТ, чем достигается приближение к реальным условиям измерений.

Следует отметить, что калибровочные сигналы от встроенного имитатора поступают на внешний разъем СКУП-1МИ, что позволяет использовать имитатор как самостоятельный прибор для калибровки не только самой системы, но и других устройств обработки выходных сигналов ДБСКТ. В частности, это уже практикуется при проверке параметров и метрологической аттестации измери-

тельных каналов программно-технических комплексов, изготавливаемых ОАО «Элемент» для испытательных газотурбинных двигателей и эксплуатируемых на ОАО «Мотор Сич».

Первые образцы СКУП-1МИ прошли метрологическую аттестацию в органах Госпотребстандарта и переданы в эксплуатацию на ФГУП ММП «Салют» (г. Москва) и на ОАО «ВАСО» (г. Воронеж).

### Заключение

1. На ОАО «Элемент» создана, прошла государственную метрологическую аттестацию и длительную проверку в эксплуатации на ряде авиапредприятий переносная двухканальная система контроля углового положения вала ДБСКТ – СКУП-1, предназначенная для выполнения наземного контроля и калибровки бортовых датчиков угла ДБСКТ трех типов. Разработчиком создан также специализированный калибратор – имитатор ДБСКТ – значительно облегчающий поверку системы.

2. В результате модернизации системы СКУП-1 на современной элементной базе создана аналогичная система нового поколения СКУП-1МИ с уменьшенными массо-габаритными характеристиками,

повышенной надежностью и со встроенным имитатором ДБСКТ, обеспечивающим поверку, а также оперативный контроль параметров СКУП-1МИ в эксплуатации. Начата эксплуатация первых образцов СКУП-1МИ на ФГУП ММП «Салют» (г. Москва) и на ОАО «ВАСО» (г. Воронеж).

3. Обеспечено измерение угла отклонения вала ДБСКТ с погрешностью не более  $0,5^\circ$  в диапазоне от минус 180 до  $+180^\circ$ .

4. Перспективы совершенствования рассматриваемой системы заключаются в расширении ее функциональных возможностей за счет:

- повышения быстродействия (сокращения периода измерений) при сохранении достигнутой точности;
- организации дополнительных интерфейсов – RS-232, RS-485 и ARINC-429.

### Литература

1. ДСТУ 3215-95 Метрологическая аттестация средств измерительной техники. Организация и порядок проведения. – Взамен ГОСТ 8.326-89; введ. 29.09.1995. – К.: Держстандарт України, 2000. – 10 с.

Поступила в редакцию 2.06.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор С.А. Положаенко, Одесский национальный политехнический университет, Институт компьютерных систем, Одесса.

### СИСТЕМА ВИМІРІВ КУТА ПОВОРОТУ ВАЛА ДБСКТ З ВБУДОВАНИМ КАЛІБРАТОРОМ – РОЗРОБКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*А.Г. Буряченко, В.М. Грудинкин*

Відбиті основні вимоги до системи вимірів кута повороту валу ДБСКТ, яка забезпечує наземний передпольотний контроль і калібрування бортових датчиків кута входних направляючих апаратів і кута  $\alpha$ -РУД. Освітлені проблемні питання, що виникли при розробці і забезпеченні державної метрологічної аттестації системи, і путі їх рішення. Приведені результати експлуатації першого покоління системи на ВАТ «Мотор Січ», ДП «Івченко–Прогрес» і ДП АНТК ім. Антонова протягом 10 років і описана недавно.

**Ключові слова:** бортові датчики, синусно-косинусні трансформатори, наземний передполітний контроль, погрешність вимірів, метрологічна аттестация, вбудоване програмне забезпечення, імітатор, тимчасова стабільність, дисплей, аналоговий вихід.

### SYSTEM FOR MEASUREMENTS OF STEERING ANGLE OF DBSKT SHAFT WITH BUILT-IN CALIBRATOR. DEVELOPMENT AND RESULTS OF EXPLOITATION

*A.G. Buryachenko, V.M. Grudinkin*

The basic requirements to system for measurements of steering angle of DBSKT shaft providing surface pre-flight control and calibration of board sensors of STEERING ANGLE OF entrance directional control equipment and STEERING angle of  $\alpha$ -ECA are reflected. Problem questions which arise under system development and providing of state metrology attestation of the system and way of their decision are shown. The results of exploitation of first system generations in JSC «Motor of Sich», SI «Ivchenko-Progress» and ANTK Antonov during 10 years are shown. The new development system of the second generation is described.

**Key words:** board sensors, sinus-cosinus transformers, surface pre-flight control, error of measurements, metrology attestation, built-in software, imitator, temporal stability, display, analog output.

**Буряченко Анна Григорьевна** – с.н.с., и.о. главного метролога ОАО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: element@farlep.net.

**Грудинкин Вячеслав Михайлович** – зам. главного конструктора ОАО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: element@farlep.net.