

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 531.714.2

DOI 10.21685/2307-5538-2018-4-1

Д. А. Рязанцев

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

D. A. Ryazantsev

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MEASURING ANGULAR DISPLACEMENTS

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Актуальность разрабатываемой системы измерения угловых перемещений определяется постоянно растущими требованиями по точности измерения и стойкости к внешним воздействующим факторам, предъявляемыми к информационно-измерительным управляющим системам. Целью данной работы является обобщение результатов разработки системы измерения угловых перемещений и описание ее применения в информационно-измерительной системе управления валом поворотного устройства. **Материалы и методы.** При разработке системы измерения угловых перемещений применены методы программной коррекции дополнительной погрешности от температуры, а также основной приведенной погрешности. **Результаты.** Представлены результаты разработки системы измерения угловых перемещений. Приведены значения основной приведенной погрешности и дополнительной погрешности от воздействия температуры, полученные при разработке системы измерения угловых перемещений. **Выводы.** Разработанная система измерения угловых перемещений по результатам испытаний соответствует предъявляемым требованиям по точности измерения и стойкости к внешним воздействующим факторам, а также успешно применяется в информационно-измерительной системе управления валом поворотного устройства.

A b s t r a c t. Background. The relevance of the developed system for measuring angular displacements is determined by the ever-growing requirements for measurement accuracy and resistance to external influencing factors to information-measuring control systems. The purpose of this work is to summarize the results of the development of a system for measuring angular displacements and to describe its use in an information-measuring control system for a shaft of a rotary device. **Materials and methods.** When developing a system for measuring angular displacements, methods of program correction of an additional error on temperature as well as the main reduced error were applied. **Results.** The results of the development of a system for measuring angular displacements are presented. The values of the basic reduced error and the additional error from the effects of temperature, obtained by developing a system for measuring angular displacements are given. **Conclusions.** The results of the development of a system for measuring angular displacements are presented. The values of the basic reduced error and the additional error from the effects of temperature, obtained by developing a system

for measuring angular displacements are given. An information-measuring control system is described in which the developed system for measuring angular displacements is used.

К л ю ч е в ы е с л о в а: информационно-измерительная и управляющая система, система измерения угловых перемещений, датчик угла поворота, вращающийся трансформатор, дифференциальная схема включения, основная приведенная погрешность, дополнительная погрешность от температуры.

Key words: information-measuring and control system, system for measuring angular displacements, angle of rotation sensor, rotating transformer, differential switching circuit, basic reduced error, additional error of temperature.

Введение

В современном информационном обществе трудно сказать, в какой сфере деятельности человека еще не используются информационно-измерительные управляющие системы (ИИУС). ИИУС с развитием техники и микроэлектроники постоянно совершенствуются. Новые ИИУС находят применение в таких направлениях, как ракетно-космическая техника (РКТ) и авиационная техника (АТ), если их характеристики соответствуют предъявляемым в этих отраслях требованиям по безопасности, надежности и точности.

При создании сложных механических систем позиционирования объекта в настоящее время широко используются системы измерения перемещений [1]. В ИИУС, РКТ и АТ новейшие системы измерения перемещений применяются при измерении угловых и линейных перемещений.

АО «НИИФИ» обладает большим опытом в проектировании систем измерения, в том числе и систем измерения перемещений для РКТ и АТ. В последние годы в НИИФИ разработан целый ряд систем измерения перемещений: система контроля параметров шасси (СКПШ) [2]; система контроля физических параметров ракетных двигателей с 100; система контроля высокочастотных радиальных и осевых биений валов турбонасосных агрегатов двигательных установок с 099; система измерения линейных перемещений без механической связи с объектом измерения с 085 [3, 4]. Основываясь на имеющемся опыте, сотрудники предприятия разработали систему измерения угловых перемещений (СИУП) с повышенными метрологическими характеристиками, предназначенную для применения в управлении двигательными установками поворотных устройств точного позиционирования ИИУС, РКТ и АТ.

Основная часть

Системы измерения перемещений применяются для измерения параметров движущейся части объекта, поэтому к таким системам предъявляются жесткие требования по стойкости к таким механическим факторам, как механический удар, вибрация, линейное ускорение. Разработанная СИУП планируется к использованию в ИИУС изделий РКТ и АТ для управления устройств поворотных, предназначенных для регулирования подачи топлива и измерения наклона механических и гидравлических приводов, где к жестким требованиям по стойкости к механическим факторам добавляются жесткие требования по стойкости к климатическим факторам.

Разработанная СИУП в соответствии с требованиями заказчика должна измерять угол поворота устройств поворотных в вертикальной и горизонтальной плоскостях с основной приведенной погрешностью не более 0,1 %, передавать информацию в бортовое радиоэлектронное оборудование последовательным кодом, тем самым осуществляя управление валом поворотного устройства. СИУП должна работать в условиях следующих внешних воздействующих факторов (ВВФ): синусоидальной вибрации до 120 g в частотном диапазоне 32–3000 Гц; механического удара одиночного действия до 980 g; линейного ускорения до 5 g; температуры от 60 до –60 °С; пониженной влажности 20 % (при температуре 30 °С); повышенной влажности 98 % (при температуре 35 °С). С учетом требований, предъявляемых к СИУП, перед разработчиком формируется сложная задача обеспечения высокой точности измерения в жестких условиях эксплуатации.

СИУП состоит из: первичного преобразователя – датчика угла поворота (ДУП) трансформаторного типа; вторичного преобразователя, осуществляющего обработку и преобразование аналогового сигнала ДУП в цифровой код, передающийся по интерфейсу ARINC. Для выполнения требований заказчика по точности измерения при разработке СИУП был принят ряд нестандартных конструктивных, схемных и программных решений. Информативным параметром ДУП является разность выходных сигналов измерительных обмоток чувствительного элемента (ЧЭ). Такая схема включения измерительных обмоток ЧЭ называется дифференциальной и позволяет исключить влияние температуры на измерительные обмотки ЧЭ. Конструктивно схема была отработана на датчике линейных перемещений (ДЛП) [5]. При разработке ДЛП было достигнуто значение основной приведенной погрешности 0,11 %, что недостаточно для выполнения заданных требований.

Для достижения значения основной приведенной погрешности менее 0,1 % в СИУП предусмотрена линеаризация выходной характеристики ДУП с помощью установки поправочных коэффициентов в памяти цифрового процессора вторичного преобразователя. Такая настройка позволяет достигнуть значения основной приведенной погрешности 0,05 % (рис. 1).

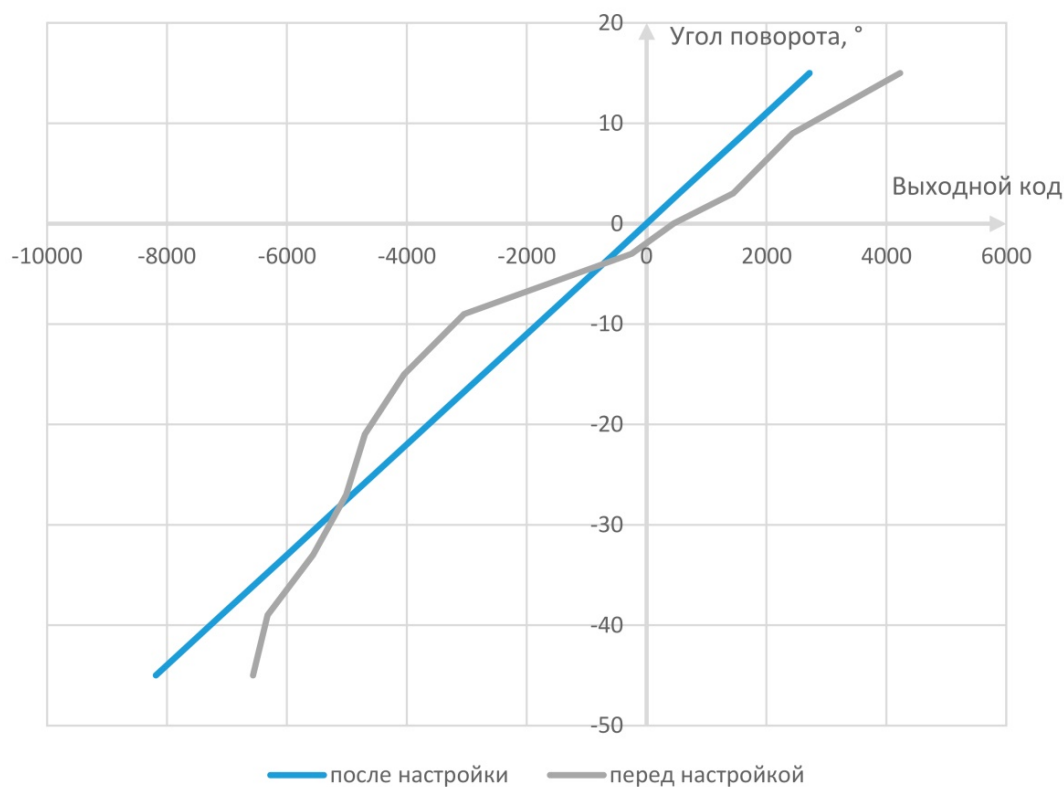


Рис. 1. Градуировочная характеристика СИУП до и после линеаризации выходной характеристики ДУП

Кроме основной погрешности, на результат измерений существенное влияние оказывает дополнительная погрешность, вызванная воздействием температуры [6]. Под действием температуры изменяются параметры питающей и измерительной обмоток ЧЭ, АЦП, генератора сигналов [7]. Для уменьшения влияния на результат измерения изменения параметров ЧЭ от температуры вводится температурная коррекция посредством записи в памяти микропроцессора поправочных коэффициентов на основании показаний канала измерений температуры. Каналом измерения температуры служит суммарный сигнал с измерительных обмоток ЧЭ. Для исключения уходов параметров АЦП от воздействия температуры применен стабильный источник опорного напряжения. Для повышения стабильности параметров сигнала питающей обмотки ЧЭ используется встроенный генератор сигналов фиксированной формы и частоты.

На рис. 2 представлены результаты испытаний СИУП по определению дополнительной погрешности от температуры без термодатчика и после введения термодатчика.

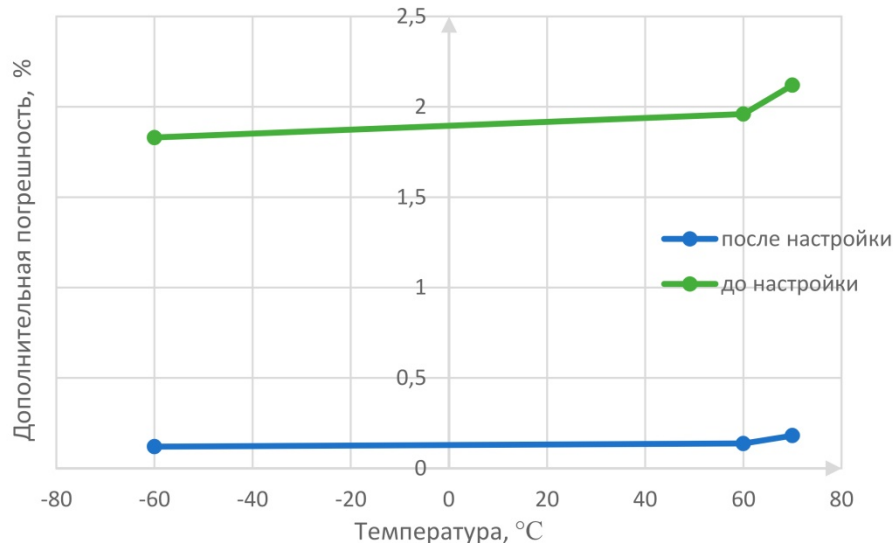


Рис. 2. Дополнительная погрешность от температуры до и после введения термокоррекции

Разработанная СИУП прошла успешно предварительные и межведомственные испытания, по результатам последних ей присвоена литера О₁, что позволяет ее использовать в ИИУС РКТ и АТ.

Разработанная СИУП нашла применение в ИИУС управления валом поворотного устройства (рис. 3). ИИУС имеет в своем составе СИУП; механический привод (П), обеспечивающий механический контакт СИУП и вала двигателя (ДВ) с устройством пусковым поворотным (УПП); блок обработки и сравнения (БОС) и блок управления двигателем (БУ), которые осуществляют обработку измеренного сигнала и управление валом двигателя.

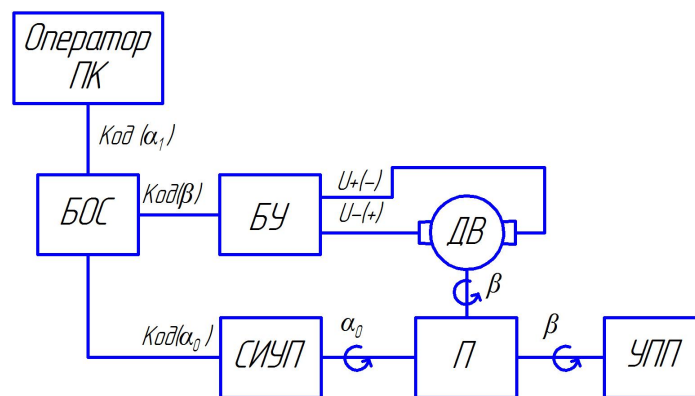


Рис. 3. Структурная схема ИИУС управления валом поворотного устройства

ИИУС управления валом поворотного устройства работает следующим образом: с ПК на БОС поступает команда о повороте на угол α_1 , БОС по информации о текущем положении угла поворота α_0 с СИУП высчитывает угол β , на который следует повернуть УПП для задания угла α_0 . Далее БОС выдает управляющую команду на БУ. БУ переводит код угла поворота β в напряжение соответствующей полярности $u+(-)$, оно подается на ДВ. ДВ осуществляет через П поворот УПП на угол β , соответствующий заданному оператором углу поворота α_1 .

Рассмотренная ИИУС управления валом поворотного устройства благодаря применению разработанной СИУП отличается высокой точностью задания угла поворота.

Заключение

По результатам проведенных испытаний СИУП удовлетворяет требованию по основной приведенной погрешности измерения угла поворота, предъявляемого заказчиком. При воздействии температуры окружающей среды от -60° до 60° C на СИУП достигнуто значение до-

полнительной погрешности от температуры 0,2 %. По результатам успешного применения в новейших образцах ИИУС АТ можно сделать заключение о высоких эксплуатационных характеристиках разработанной СИУП.

В представленной статье не рассмотрен вопрос влияния механических факторов на работоспособность и эксплуатационные характеристики разработанной СИУП. Для всестороннего рассмотрения вопроса воздействия ВВФ на СИУП следует продолжить работу в части определения влияния механического воздействия на работоспособность и эксплуатационные характеристики составных частей СИУП.

Библиографический список

1. *Дмитриенко, А. Г.* Тенденции развития датчиков, преобразователей и на их основе систем измерения, мониторинга и контроля технически сложных объектов ракетной техники / А. Г. Дмитриенко, А. В. Блинов, А. Н. Трофимов, А. А. Трофимов // Датчики и системы. – 2012. – № 9. – С. 4–6.
2. *Трофимов, А. А.* Датчик угловых перемещений для системы контроля параметров шасси / А. А. Трофимов, В. Н. Новиков, С. Ф. Горбунов // Датчики и системы. – 2008. – № 7. – С. 55–57.
3. *Гаврилов, В. А.* Система измерения линейных перемещений / В. А. Гаврилов, А. А. Трофимов // Датчики и системы. – 2005. – № 9. – С. 44–46.
4. *Трофимов, А. А.* Трансформаторные датчики перемещений с расширенным диапазоном измерений / А. А. Трофимов, Н. Д. Конаков // Датчики и системы. – 2005. – № 9. – С. 8–10.
5. *Рязанцев, Д. А.* Датчик линейных перемещений для систем измерения ракетно-космической техники / Д. А. Рязанцев, А. А. Трофимов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 42–48.
6. *Усольцев, А. А.* Электрические машины / А. А. Усольцев. – СПб. : НИУ ИТМО, 2013. – 416 с.
7. *Трофимов, А. А.* Моделирование воздействия пониженного давления на датчик линейных перемещений / А. А. Трофимов, Д. А. Рязанцев, Р. М. Тимонин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 3 (21). – С. 67–73.

Рязанцев Дмитрий Андреевич

ведущий инженер-конструктор,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: nik2@niifi.ru

Ryazantsev Dmitriy Andreevich

lead design engineer,
Scientific-research Institute
of physical measurements
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

УДК 531.714.2

Рязанцев, Д. А.

Разработка системы измерения угловых перемещений / Д. А. Рязанцев // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 4 (26). – С. 5–9. – DOI 10.21685/2307-5538-2018-4-1.