

3. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов (общие вопросы проектирования): учебное пособие для студентов электротехнических вузов. М. : Энергия, 1971. 560 с.

*A. M. Markov*

### **PARTICULARITIES OF THE CALCULATION OF THE SYSTEM OF THE EXTINGUISHING THE ELECTRIC ARC IN ELECTROMAGNETIC CONTACTOR OF THE DIRECT CURRENT**

*They are considered problems calculation systems of the extinguishing the arc, allowing stable to extinguish the arc of the direct current, appearing on contact of the electric device. The offered methods of the system calculation execution of the extinguish, providing necessary engineering accuracy and validity result.*

**Keywords:** electric arc of the direct current, including ability, transverse magnetic field, spool of the current for extinguishing the electric arc.

Марков Александр Михайлович — доцент кафедры «Электропривод и системы автоматизации» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук, доцент.

УДК 389

*V. M. Korobov*

### **ПОВЫШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЁЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Рассмотрены проблемы повышения метрологической надёжности информационно-измерительных систем. Показано, что точность измерений в этих системах определяется, в основном, погрешностью первичного преобразования измерительной информации. Рассмотрен способ аппаратной коррекции погрешностей параметрических датчиков, имеющих зависимость метрологических характеристик от времени и условий эксплуатации.*

**Ключевые слова:** информационно-измерительные системы, метрологическая надёжность, погрешность измерения, первичные преобразователи измерительной информации, программная и аппаратурная коррекция.

Проблемы компьютеризации измерительных средств стали активно обсуждаться в начале 1980-х гг. Это было обусловлено общими тенденциями в развитии вычислительной техники, темпами её освоения в измерительной практике, достижениями в разработке микропроцессорных средств и их технических приложений.

Включение процессора в состав измерительной цепи позволило возложить на программную часть измерительного средства реализацию сложных измерительных преобразований, обеспечивающих выполнение косвенных, сово-

купных и совместных измерений, статистических измерений, измерений с коррекцией и адаптивных измерений [1].

Прогресс в создании и совершенствовании информационно-измерительных систем (ИИС) идёт в двух направлениях [2]:

1. Формализация описания измерительных процедур за счёт формирования программной части измерительного средства.
2. Снижение погрешности преобразования измерительной информации на пути от первичного преобразователя (датчика) до ЭВМ за счёт достижений современной полупроводниковой схемотехники.

Совершенствование принципов построения измерительных средств и, в первую очередь, использование модульного подхода к синтезу как аппаратной, так и программной части ИИС, привело к созданию средств измерений с открытыми функциональными возможностями, варьируемыми за счёт трансформации состава ИИС.

Эта особенность ИИС в совокупности с усложнением реализуемых алгоритмов измерений требует формирования адекватных методов метрологического анализа результатов измерений.

Ключевыми для любого средства измерений, от простейшего аналогового прибора до компьютерной измерительной системы, являются понятия его метрологических характеристик (погрешности измерений и надёжности измерений) поскольку оператор всегда стоит перед дилеммой — верить или не верить полученному результату.

Метрологический анализ современных образцов ИИС, в структуру которых входят первичные преобразователи (аналоговые датчики), блоки первичной обработки измерительной информации (аналого-цифровые преобразователи) и вычислительная машина (микро ЭВМ или ПЭВМ), показывает, что:

1. Инструментальные погрешности аналого-цифрового преобразования в худшем случае не превышают погрешности квантования (для 12-ти разрядного АЦП это составит не более 0,005 %) [3]. Эта погрешность неизменна во времени и может быть учтена в программном обеспечении расчётов результатов измерений. Температурная погрешность канала аппаратной обработки измерительной информации может быть снижена до весьма малых величин термостатированием либо программной автокоррекцией. В последних разработках ИИС предусмотрена возможность определения индивидуальных функций влияния температуры на различные узлы системы: дрейф нуля усилителей постоянного тока, сопротивление коммутаторов, коэффициенты передачи различных структурных элементов. Коррекция производится автоматически. Аналогично снижают и частотную погрешность, доводя её до  $10^{-7}$  % [1].
2. Погрешности расчётов с помощью ЭВМ сводятся, практически, к погрешности округления и могут быть пренебрежимо малы.
3. Слабым звеном в этой цепи являются первичные преобразователи, погрешности которых в зависимости от типа датчика лежат в диапазоне от десятых долей до единиц и более процентов [6]. Кроме того, многие

датчики нестабильны во времени, стареют, имеют гистерезис, подвержены влиянию внешних возмущающих факторов, имеют разброс параметров в партии, требуют индивидуальной калибровки и т. п.

Таким образом, погрешности измерений в современных ИИС определяются, практически, погрешностями первичных преобразователей (датчиков) и именно проблемы с датчиками обычно приводят к метрологическим отказам ИИС.

Очевидно, что минимизация погрешностей первичного преобразования может быть достигнута путём совершенствования принципов и технологий изготовления как самих датчиков, так и за счёт оригинальных схемотехнических решений построения каналов первичной обработки измерительной информации.

Так, например, широко применяемые в промышленности сорбционные датчики при неплохих метрологических характеристиках, имеют и ряд существенных недостатков — не линейны, поляризуются, содержат в выходном сигнале неинформативные параметры, стареют в процессе эксплуатации, требуют регулярной метрологической аттестации и калибровки и т. д.

Схемотехнические решения [7, 8] построения каналов первичной обработки измерительной информации, полученной от сорбционных датчиков, позволили решить проблему нестабильности внутреннего источника опорного напряжения и масштабного коэффициента аналого-цифрового преобразователя, а также наличие неинформативных параметров в выходном сигнале датчика.

Метрологические характеристики любого средства измерения, в частности погрешности, могут изменяться в процессе эксплуатации. Следует отметить, что не все составляющие погрешности подвержены изменению во времени. Например, методические погрешности зависят только от используемой методики измерений. Среди инструментальных погрешностей есть много составляющих, практически не подверженных старению [4].

Изменение метрологических характеристик средства измерений во времени обусловлено процессами старения в его узлах и элементах, вызванными взаимодействием с внешней окружающей средой. Эти процессы протекают, в основном на молекулярном уровне и не зависят от того, находится средство измерения в эксплуатации или на консервации. Следовательно, основным фактором, определяющим старение средства измерения, является календарное время с момента изготовления, т. е. возраст. Скорость старения зависит, прежде всего, от используемых материалов и технологий. Исследования [5] показали, что необратимые процессы, изменяющие погрешность, протекают достаточно медленно и зафиксировать эти изменения в ходе эксперимента в большинстве случаев невозможно. Поэтому в современных ИИС используют различные математические методы, на основе которых строятся модели изменения погрешностей и производится прогнозирование метрологических отказов.

Чаще рассматривается одна из двух моделей изменения во времени погрешности средства измерений: линейная или экспоненциальная [3].

В общем виде модель погрешности с определенной вероятностью можно представить в виде:  $\Delta(t) = \Delta_0 + F(t)$ , где  $\Delta_0$  — начальная погрешность средства измерений;  $F(t)$  — случайная для совокупности средств измерений данного

типа функция времени, обусловленная физико-химическими процессами постепенного износа и старения элементов и блоков. Получить точное выражение для этой функции исходя из физических моделей процессов старения практически не представляется возможным. Поэтому, основываясь на экспериментальных и статистических исследованиях, функцию  $F(t)$  аппроксимируют той или иной математической зависимостью.

Простейшей моделью изменения погрешности является линейная модель:

$$\Delta(t) = \Delta_0 + vt$$

где  $v$  — скорость изменения погрешности.

Как показали проведённые исследования, данная модель удовлетворительно описывает процесс старения средства измерений в диапазоне от одного до пяти лет.

Практика показывает, что в ряде случаев с течением времени погрешность может, как нарастать, так и убывать. Эту ситуацию описывает экспоненциальная модель:

$$\omega(t) = \omega_0 e^{\alpha t},$$

где  $\omega_0$  — частота метрологических отказов на момент изготовления средства измерений (т. е. при  $t = 0$ ), год<sup>-1</sup>;  $\alpha$  — положительное или отрицательное ускорение процесса метрологического старения, год<sup>-1</sup>.

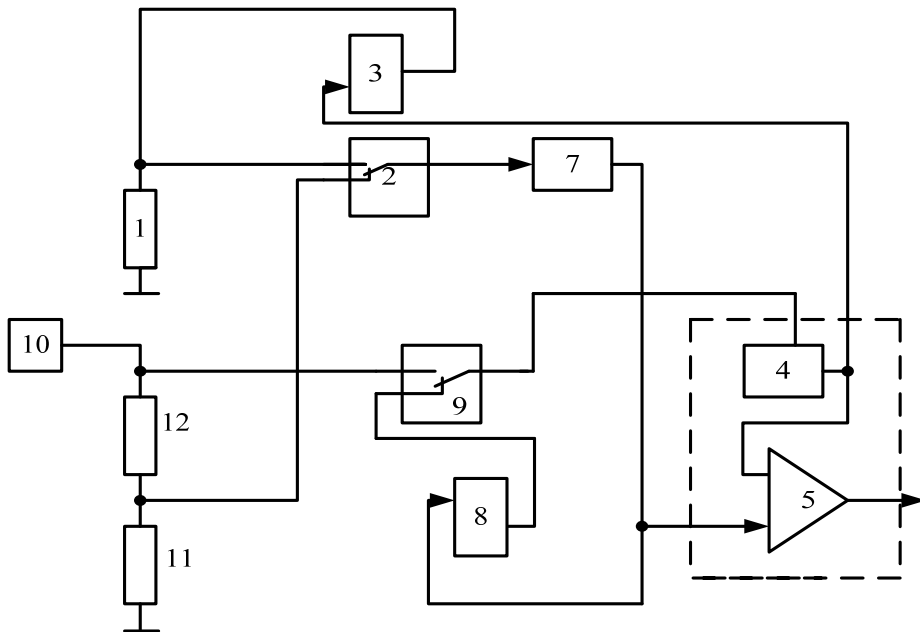
Экспоненциальная модель процесса старения позволяет описать изменение погрешности средства измерения при увеличении его возраста от года и до практически бесконечности. Однако данная модель имеет ряд недостатков. Для средств измерений с отрицательным ускорением процесса старения она прогнозирует (при  $t \rightarrow \infty$ ) стремление погрешности к предельному нормируемому значению, а при положительном ускорении модель дает неограниченное возрастание погрешности с течением времени, что противоречит практике.

Очевидно, что программная корректировка погрешности первичных преобразователей возможна только, если определена функция  $F(t)$ . А это, в свою очередь, возможно на основе достаточно длительных статистических наблюдений за конкретным типом датчиков, эксплуатируемых в одних и тех же условиях.

Таким образом, программная корректировка погрешностей, при всей её привлекательности, может быть применима только для решения весьма ограниченного круга задач, решаемых при проектировании ИИС.

Развитие технологий изготовления датчиков, достижения микроэлектроники позволили в настоящее время резко снизить стоимость первичных преобразователей, наладить выпуск «интеллектуальных датчиков», сочетающих в себе не только функции первичного преобразования измеряемой величины, аналого-цифрового преобразования, передачи измерительной информации по каналам связи, но и ряд других сервисных функций [1].

В этих условиях актуальным становится аппаратный способ коррекции погрешностей датчиков с явно выраженной зависимостью метрологических характеристик от времени и условий эксплуатации. Данный способ коррекции реализован в «Цифровом преобразователе влажности» (рисунок 1) [9].



**Рис. 1.** Цифровой преобразователь влажности: 1 — первичный преобразователь (датчик) влажности; 2, 9 — двухпозиционные ключи; 3, 8 — блоки выборки-хранения; 4 — цифро-аналоговый преобразователь; 5 — компаратор; 6 — блок преобразования; 7 — функциональный преобразователь; 10 — источник опорного напряжения; 11 — образцовый первичный преобразователь (датчик) влажности; 12 — добавочное сопротивление

Устройство работает следующим образом.

Влажность преобразуется в датчике 1 в аналоговый сигнал. Блок 6 преобразует измеренный аналоговый сигнал в цифровой по методу поразрядного уравнивания. Схемное решение позволяет в цикле измерений запитать цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) 4 по цепи опорного напряжения выходным сигналом образцового датчика 11, а питание датчика 1 осуществить выходным напряжением ЦАП 4.

В этом случае в цикле, предшествующем измерению, устанавливается:

$$U_1 = U_{\text{оп}} \times K_{\text{до}} \times \varphi_0,$$

$$U_2 = U_{\text{оп}} \times K_{\text{цап}} \times N_0,$$

где  $U_1$  — напряжение на выходе ЦАП 4;  $U_2$  напряжение на выходе функционального преобразователя 7;  $U_{\text{оп}}$  — напряжение источника опорного напряжения 10;  $K_{\text{до}}$ ,  $K_{\text{цап}}$  — масштабные коэффициенты аналогового тракта образцового датчика 11 и ЦАП 4;  $N_0$  — код, установленный в предварительном цикле;  $\varphi_0$  — образцовое значение влажности.

Эти напряжения запоминаются в блоках выборки-хранения 3 и 8 соответственно. В цикле измерений переключаются ключи 2 и 9. При этом в измерительный тракт включается датчик 1, запитываемый от блока выборки-

хранения 3, а выход блока выборки–хранения 8 запрашивает вход опорного напряжения ЦАП 4. На цифровых входах ЦАП 4 устанавливается искомый код N, соответствующий измеряемой влажности  $\varphi$ . При этом на входах компаратора 5 устанавливается равновесие напряжений:

$$U_{\text{оп}} \times K_{\text{цап}} \times N_0 \times K_{\text{до}} \times \varphi = U_{\text{оп}} \times K_{\text{до}} \times \varphi_0 \times K_{\text{цап}} \times N$$

Учитывая идентичность первичных преобразователей (датчиков) 1 и 11:

$$\varphi = \frac{N}{N_0} \times \varphi_0$$

Заметим, что схемотехнические решения аппаратной коррекции погрешностей датчиков [7, 8, 9], изначально разработанные для сорбционных датчиков влажности — гигристоров, являются достаточно универсальным и могут быть использованы с параметрическими датчиками других типов.

Таким образом, для повышения метрологической надёжности ИИС, в первую очередь, должны рассматриваться аппаратные способы снижения погрешностей измерительного тракта, так как для программной автокоррекции в большинстве случаев отсутствует достоверная информация о поведении первичных преобразователей (датчиков) в реальных условиях эксплуатации.

### Литература

1. Измерительные информационные системы: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Раннев. М. : Издательский центр «Академия», 2010. 336 с.
2. Методы и средства измерений: учебник для студ. высш. проф. образования / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. 6-е изд., стер. М. : Издательский центр «Академия», 2010. 336 с.
3. Сергеев А. Г., Латышев М. В., Терегеря В. В. Метрология, стандартизация, сертификация: учебное пособие. М. : Логос, 2003. 536 с.
4. Новицкий П. В., Зограф И. А., Лабунец В. С. Динамика погрешностей средств измерений. М. : Энергоатомиздат, 1990. 192 с.
5. Екимов А. В., Ревяков М. И. Надёжность средств электроизмерительной техники. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 206 с.
6. Агеев О. А., Мамиконова В. М., Петров В. В., Котов В. Н., Негоденко О. Н. Микроэлектронные преобразователи неэлектрических величин: учебное пособие. Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2000. 153 с.
7. Коробов В. М., Козырев И. Н., Михайлов В. А., Селивахин А. И. Цифровой гигрометр. Авторское свидетельство СССР № 1649484, кл. G 01 W1/00, опубл. Бюл. № 18, 1991.
8. Коробов В. М., Селивахин А. И. Цифровой гигрометр. Авторское свидетельство СССР № 1589177, кл. G 01 N 25/56, опубл. Бюл. № 32, 1990.
9. Коробов В. М., Козырев И. Н., Михайлов В. А., Селивахин А. И. Цифровой преобразователь влажности. Авторское свидетельство СССР № 1659819, кл. G 01 N 25/66, опубл. Бюл. № 24, 1991.

## IMPROVING THE RELIABILITY OF METROLOGICAL INFORMATION AND MEASURING SYSTEMS

*The problems of improving the reliability of metrological information and measurement systems. It is shown that the accuracy of these systems is determined mainly primary conversion error of measurement information. The way the hardware error correction parameter sensors that depend on the time of the metrological characteristics and operating conditions.*

**Keywords:** information-measuring systems, metrological reliability, measurement error, the primary measurement data converters, software and hardware correction.

Коробов Владимир Михайлович — доцент кафедры «Теоретические основы электротехники» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук.

УДК 621.643.622.32

*И. В. Плохов, А. Б. Павлов*

## ВЫКИДНЫЕ ПОДОГРЕВАЕМЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Приведен обзор трубопроводов и систем их подогрева, применяемых для транспортировки нефти.*

**Ключевые слова:** нефтепроводы, вязкость нефти, электроподогрев, стальные трубы, полимерные трубы.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) — одна из ведущих отраслей российской промышленности. Одним из приоритетных направлений ТЭК является добыча и переработка углеводородов. Применение различных инновационных технических решений в этой отрасли позволяет, снизить себестоимость получаемого продукта, повысить энергосбережение и энергоэффективность систем ТЭК.

Одной из проблем является транспортировка нефти, как внутри куста скважин, так и до места сбора нефти. При этом от способа транспортировки значительно зависит себестоимость. Транспортировка нефти осуществляется автомобильным, железнодорожным и трубопроводным транспортом, последний из которых получил широкое распространение как наиболее дешевый и экологичный [1]. Основная проблема при транспортировке нефти — низкие температуры в осенне-зимний период. При охлаждении нефть становится более вязкой, а также велика вероятность выпадения парафинов, что заставляет применять теплоизоляцию на трубопроводах и/или подогревать транспортируемый