

Г. И. Козырев, Р. О. Лавров, В. Д. Усиков

**ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ
НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ**

G. I. Kozyrev, R. O. Lavrov, V. D. Usikov

**CONSTRUCTION OF AN INTELLIGENT MEASURING SYSTEM
FOR MONITORING THE METROLOGICAL RELIABILITY
OF AN AUTOMATED METROLOGICAL SERVICE COMPLEX
FOR WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT**

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью повышения метрологической надежности автоматизированных комплексов метрологического обслуживания вооружения и военной техники с помощью интеллектуальной измерительной системы контроля дрейфа метрологических характеристик в заданном диапазоне при воздействии дестабилизирующих факторов. Целью работы является разработка интеллектуальной измерительной системы, которая позволит корректировать выходные значения измеряемых параметров автоматизированного комплекса метрологического обслуживания в условиях воздействия дестабилизирующих факторов вплоть до предельных значений условий эксплуатации. **Результаты.** Рассмотрен подход к построению интеллектуальной измерительной системы контроля метрологической надежности автоматизированного комплекса метрологического обслуживания с учетом особенностей его функционирования. Представлена структура интеллектуальной измерительной системы контроля метрологической надежности автоматизированного комплекса метрологического обслуживания. Предложен способ построения интеллектуальных датчиков для устойчивого функционирования интеллектуальной измерительной системы при воздействии дестабилизирующих факторов. **Выводы.** Использование интеллектуальной измерительной системы контроля метрологической надежности позволит обеспечить выполнение автоматизированным комплексом метрологического обслуживания измерительной задачи в условиях воздействия различного рода дестабилизирующих факторов.

A b s t r a c t. Background. The relevance of this work is due to the need to increase the metrological reliability of automated systems for metrological service of weapons, military equipment of the Space Forces, using the means of an intelligent measuring system for monitoring the drift of metrological characteristics in a given range when exposed to destabilizing factors. The aim of the work is to develop an intelligent measuring system that will allow correcting the output values of the measuring parameters of an automated metrological service complex under the influence of destabilizing factors up to the limiting values of operating conditions. **Results.** An approach to the construction of an intelligent measuring system for monitoring the metrological reliability of an automated metrological service complex is considered,

taking into account the peculiarities of its functioning. The structure of an intelligent measuring system for monitoring metrological reliability of an automated metrological service complex is presented. A method for constructing intelligent sensors for the stable functioning of an intelligent measuring system under the influence of destabilizing factors is proposed. **Conclusions.** The use of an intelligent measuring system for monitoring metrological reliability will ensure that an automated metrological service complex performs a measuring task under the influence of various destabilizing factors.

К л ю ч е в ы е с л о в а: метрологическая надежность, автоматизированные комплексы метрологического обслуживания, дестабилизирующие факторы, интеллектуальная измерительная система, погрешность.

К e y w o r d s: metrological reliability, automated metrological service complexes, destabilizing factors, intelligent measuring system, error.

Введение

Автоматизированные комплексы метрологического обслуживания (АКМО) вооружения и военной техники, как правило, эксплуатируются в значительном удалении от основных метрологических подразделений, что затрудняет поверку и обслуживание средств измерений (СИ), входящих в их состав. Поэтому одним из важнейших требований, предъявляемых к АКМО, является автономность проводимых работ.

Для обеспечения автономности функционирования АКМО и повышения вероятности выявления метрологических отказов в процессе их эксплуатации предлагается оборудовать АКМО интеллектуальной измерительной системой контроля (ИИСК) метрологической надежности, включающей в себя базу знаний дрейфа метрологических характеристик АКМО в зависимости от воздействия различного рода дестабилизирующих факторов (ДФ). Для обеспечения требуемой точности и достоверности получаемых данных при построении ИИСК целесообразно применить интеллектуальные датчики с минимальной структурной избыточностью. Это позволит разработать систему контроля дрейфа метрологических характеристик СИ, входящих в АКМО, в реальном масштабе времени.

Определение коэффициентов метрологической надежности измерительных систем

Одним из основных показателей надежности восстанавливаемых военно-технических систем является коэффициент готовности K_T , под которым понимается вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени [1, 2].

При рассмотрении измерительной системы необходимо учитывать скрытый характер метрологических отказов, которые не проявляются до наступления очередной поверки. Поэтому в метрологической практике применяются показатели метрологической надежности, такие как вероятность метрологической исправности СИ $P_{\text{МИ}}(t)$ и коэффициент метрологической исправности СИ $K_{\text{МИ}}(t)$ [3].

Величина $P_{\text{МИ}}(t)$, под которой понимается вероятность того, что в произвольный момент времени t СИ является метрологически исправным, вычисляется с помощью выражения [3]

$$P_{\text{МИ}}(t) = \int_{-\Delta}^{\Delta} \varphi_t(\xi) d\xi = \Phi[G(t, \Delta)] - \Phi[G(t, -\Delta)], \quad (1)$$

где Δ – предел допускаемых значений метрологических характеристик; ξ – значение метрологической характеристики; $\varphi_t(\xi)$ – плотность распределения метрологической характеристики ξ , значения которой носят случайный характер; $\Phi[\bullet] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-0.5z^2} dz$ – интегральная функция нормированного нормального распределения; $G(t, \Delta)$ – функция дрейфа метрологических характеристик; t – длительность эксплуатации СИ.

Коэффициент метрологической исправности СИ $K_{\text{МИ}}(t)$ как отношение математического ожидания времени пребывания (наработки) СИ в метрологически исправном состоянии за некоторый интервал времени (за некоторую наработку) t к длительности этого интервала τ (к значению этой наработки) вычисляется с помощью следующего выражения [3]:

$$K_{\text{МИ}}(t) = \frac{1}{t} \int_0^t P_{\text{МИ}}(\tau) d\tau = \frac{1}{t} \int_0^t [\Phi(G(\tau, \Delta)) - \Phi(G(\tau, -\Delta))] d\tau. \quad (2)$$

В зависимости от рассматриваемого периода времени эти коэффициенты могут характеризовать метрологическую надежность до первой периодической поверки или калибровки либо между периодическими поверками или калибровками, т.е. без учета или с учетом эффекта периодического восстановления метрологической исправности СИ.

При рассмотрении АКМО, состоящего из n СИ, необходимо, чтобы выполнялись следующие условия:

$$K_{\text{МИ}}^* \geq \frac{K_{\Gamma}^*}{\prod_{i=1}^{n-1} K_{\Gamma_i}^*},$$

где $K_{\text{МИ}}^*$ – коэффициент метрологической исправности комплекса; K_{Γ}^* – коэффициент готовности комплекса; $K_{\Gamma_i}^*$ – коэффициент готовности i -го СИ:

$$P^* \geq \frac{P^*(t)}{\prod_{i=1}^{n-1} P_i(t)},$$

где P^* – нормируемое значение вероятности выполнения измерительной задачи; $P^*(t)$ – вероятность безотказной работы комплекса; $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го СИ, входящего в комплекс.

Необходимо учесть, что погрешность измерений включает в себя не только основную погрешность СИ, но и другие составляющие (методическую погрешность измерений, дополнительные погрешности СИ и т.д.), и, следовательно, измерительная задача может быть выполнена и неисправным СИ [3]. Тогда нормируемое значение вероятности выполнения измерительной задачи будет равняться

$$P^* = K_{\text{МИ}} P_{\text{И}} + (1 - K_{\text{МИ}}) P_{\text{Н}},$$

где $P_{\text{И}}$, $P_{\text{Н}}$ – условные вероятности выполнения измерительной задачи при условии, что СИ метрологически исправно или неисправно соответственно.

Рассмотрим подход к построению интеллектуальной измерительной системы контроля метрологической надежности АКМО, повышающей вероятность выполнения измерительной задачи за счет автоматической коррекции погрешности измерений, возникающей в результате воздействия ДФ.

Построение интеллектуальной измерительной системы контроля метрологической надежности

На современном этапе развития индустрии появляются современные методы повышения метрологической надежности за счет износостойких материалов, совершенствования элементной базы, применения встроенных в датчиково-преобразующую аппаратуру микропроцессоров, а также разработки интеллектуальных измерительных систем (ИИС). В работе [4] под ИИС понимают адаптивную измерительную систему с функцией метрологического самоконтроля, которая может быть построена на основе:

- интеллектуальных датчиков;
- информационно-избыточных датчиков, подключенных к устройству обработки сигналов;

– пространственно разнесенных датчиков одной и той же величины, из которых один имеет более высокую точность и формирует принятое опорное значение;

– пространственно разнесенных, близких по точности датчиков одной и той же величины, формирующих принятое опорное значение на основе среднеарифметического значения выходных сигналов;

– датчиков, измеряющих различные величины, связь между которыми в технологическом процессе известна с требуемой точностью.

При этом ИИС может обеспечивать:

– автоматическую коррекцию погрешности, появившейся в результате воздействия ДФ или старения;

– в ряде случаев самовосстановление при возникновении единичного дефекта;

– самообучение с целью оптимизации параметров и алгоритмов работы.

Концептуальная модель проектирования интеллектуальной измерительной системы контроля (ИИСК) метрологической надежности автоматизированного комплекса метрологического обслуживания представлена на рис. 1. Она содержит информацию о задачах и стратегиях проектирования, рисках, видах обеспечения ИИСК в зависимости от предметной области, измерительной и информационной ситуации.

В концептуальной модели предусмотрены следующие проблемы, которые обуславливают риски при проектировании:

– сложность ИИСК, результаты проектирования которой можно оценить на этапе получения определяемых параметров на основе анализа их точности;

– дополнительные затраты на коррекцию проекта – проектирования ИИСК в случае неудовлетворительных результатов;

– конфликтная ситуация: творчество и дисциплина в коллективе, реализующем проектирование ИИСК [5].



Рис. 1. Концептуальная модель проектирования ИИСК

Структура ИИСК метрологической надежности АКМО (рис. 2) включает в себя следующие элементы: интеллектуальные датчики (ИД), учитывающие ДФ, как внешние (температура окружающей среды, атмосферное давление, влажность, уровень радиоактивного фона, уровень электромагнитного поля и т.п.), так и внутренние (время эксплуатации СИ, температура печатной платы СИ и т.п.); аналого-цифровой преобразователь (АЦП); персональную электронно-вычислительную машину (ПЭВМ); базу знаний (БЗ) дрейфа метрологических ха-

рактических, основанную на экспертной системе, базе данных технических характеристик СИ, базе данных статистических отказов СИ и т.д., над актуализацией БЗ работает группа экспертов (Э) и инженеров по знаниям (ИЗ); блок нечеткого логического вывода (БНЛВ); блок корректировки (БК) выходного сигнала с учетом воздействий ДФ; блок принятия решения (БПР); пользовательский интерфейс (ПИ), самого пользователя (П). При построении ИИСК необходимо обеспечить максимальный уровень клиаративности пользователя (его способности к понимаемому восприятию, переработке и усвоению информации) с целью повышения вероятности выполнения метрологической задачи.

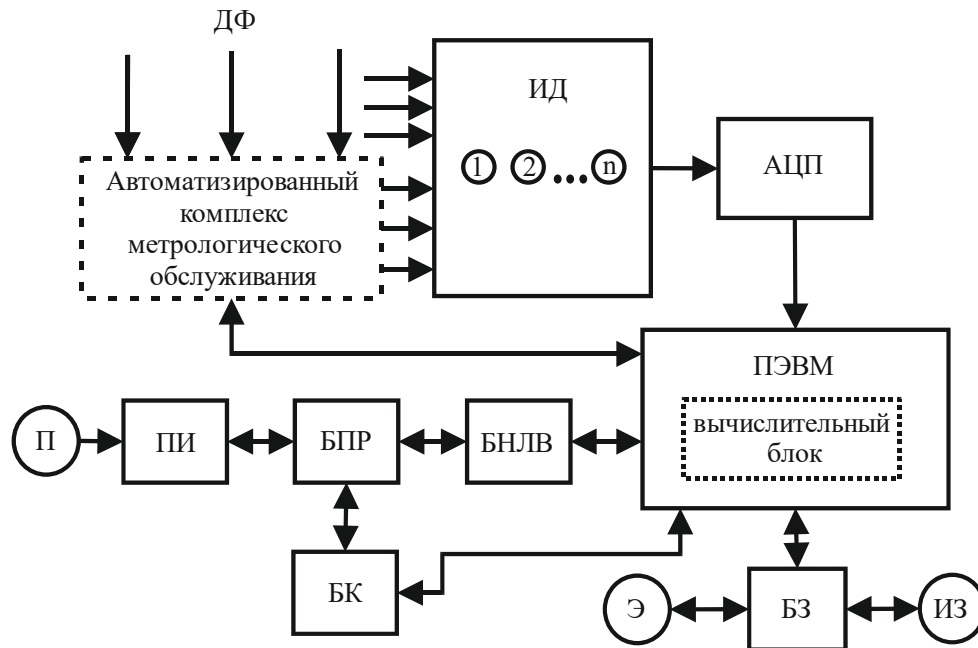


Рис. 2. Структура ИИСК метрологической надежности АКМО

Анализ современных образцов ИИСК, в структуру которых входят первичные преобразователи (аналоговые датчики), АЦП и вычислительная машина (микроЭВМ или ПЭВМ), показывает, что [6]:

1. Инструментальная погрешность аналого-цифрового преобразования в худшем случае не превышает погрешности квантования (для 12-разрядного АЦП это составит не более 0,005 %) [7]. Эта погрешность неизменна во времени и может быть учтена в программном обеспечении расчетов результатов измерений. Температурная погрешность канала аппаратной обработки измерительной информации может быть снижена до весьма малых величин термостатированием либо программной автокоррекцией. В последних разработках ИИСК 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 [8].

2. Погрешности расчетов 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 [9]. 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 ИИСК определяются практически погрешностями первичных преобразователей (датчиков) и именно проблемы с датчиками обычно приводят к метрологическим отказам ИИСК.

Очевидно, что минимизация погрешностей первичного преобразования может быть достигнута путем совершенствования принципов и технологий изготовления как самих датчи-

ков, так и за счет оригинальных схемотехнических решений построения каналов первичной обработки измерительной информации.

На рис. 3 представлена обобщенная структурная схема, иллюстрирующая минимальный набор необходимых функциональных блоков любого интеллектуального датчика (ИД) [10]. Аналоговые сигналы, поступающие с первичных преобразователей, усиливаются и преобразуются в цифровую форму. На основании этих сигналов и сохраненных в постоянном запоминающем устройстве данных калибровки микроконтроллер корректирует полученные от первичного преобразователя значения измеряемой (или связанной с ней) величины и переводит их в требуемые единицы измерения. Таким образом компенсируется погрешность, вызванная влиянием температуры, дрейфом нуля и т.п. Кроме того, микроконтроллер контролирует состояние элементов первичного преобразователя и оценивает достоверность результата измерения. Обработанная цифровая информация передается посредством цифрового интерфейса и реализованных коммуникационных протоколов пользователю, который, в свою очередь, имеет возможность настраивать параметры датчика (пределы измерения и т. п.) и запрашивать дополнительную информацию о состоянии датчика и результатах измерений.

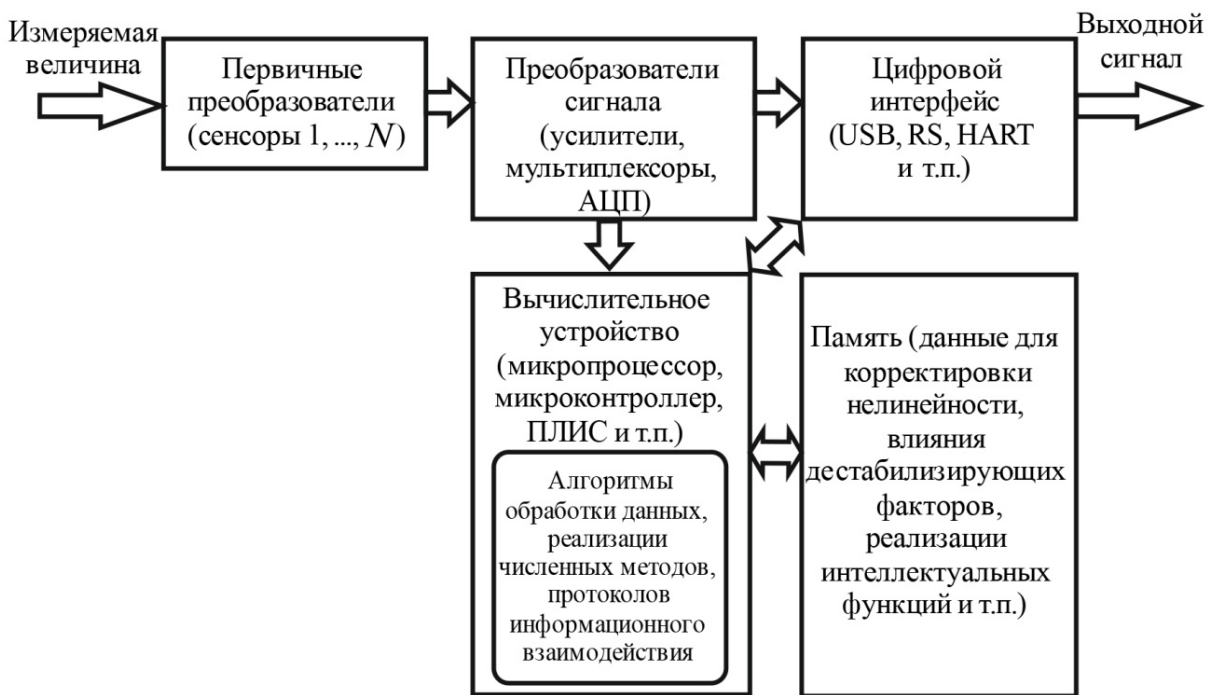


Рис. 3. Структурная схема интеллектуального датчика

Для обеспечения точности и достоверности получаемой измерительной информации от измерительных датчиков ИИСК метрологической надежности АКМО предлагается использовать в составе ИИСК интеллектуальные датчики, желательно с минимальной структурной избыточностью. На рис. 4 представлена схема интеллектуального минимально-избыточного датчика при воздействии на него неизвестных ДФ $\xi(t)$ и выходного шума $\mu(t)$.

Здесь статическая характеристика основного канала структурно-избыточного датчика (СИД) описывается с помощью линейного полиномиального выражения

$$y_1(t) = a_0(\xi) + a_1(\xi)x(t), \quad (3)$$

где параметры $a_0(\xi)$ и $a_1(\xi)$ являются нестабильными и зависят от влияния неизвестных ДФ $\xi(t)$.

При использовании в дополнительном канале предварительного функционального преобразования степени m статическая характеристика данного канала будет выглядеть следующим образом [11]:

$$y_2(t) = a_0(\xi) + a_1(\xi)x^m(t). \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) при наблюдаемых выходных сигналах $y_1(t)$ и $y_2(t)$ представляют собой систему из двух уравнений с тремя неизвестными $a_0(\xi)$, $a_1(\xi)$ и $x(t)$. Для ее решения необходимо иметь еще одно уравнение. Учитывая зашумленность реальных сигналов $y_1(t)$ и $y_2(t)$ при воздействии на них шума $\mu(t)$, третье уравнение (уравнение связи) представим в виде регрессионной зависимости между сигналами $y_2(t)$ и $y_1(t)$:

$$y_2(t) = b_0 + b_1 y_1(t) + \dots + b_m y_1^m(t), \quad (5)$$

где коэффициенты b_0, b_1, \dots, b_m находятся с помощью обработки результатов временных отсчетов

$$[y_2(t_i), y_1(t_i)], i = 1, 2, \dots, N, N > m + 1, \quad (6)$$

по методу наименьших квадратов (МНК).

По найденным коэффициентам b_0, b_1, \dots, b_m определяются искомые параметры $a_0(\xi)$ и $a_1(\xi)$ [11].

Условием идентифицируемости параметров $a_0(\xi)$ и $a_1(\xi)$ при неизвестном входном сигнале $x(t)$ является неравенство нулю определителя информационной матрицы Фишера МНК – оценок коэффициентов b_0, b_1, \dots, b_m в выражении (5).

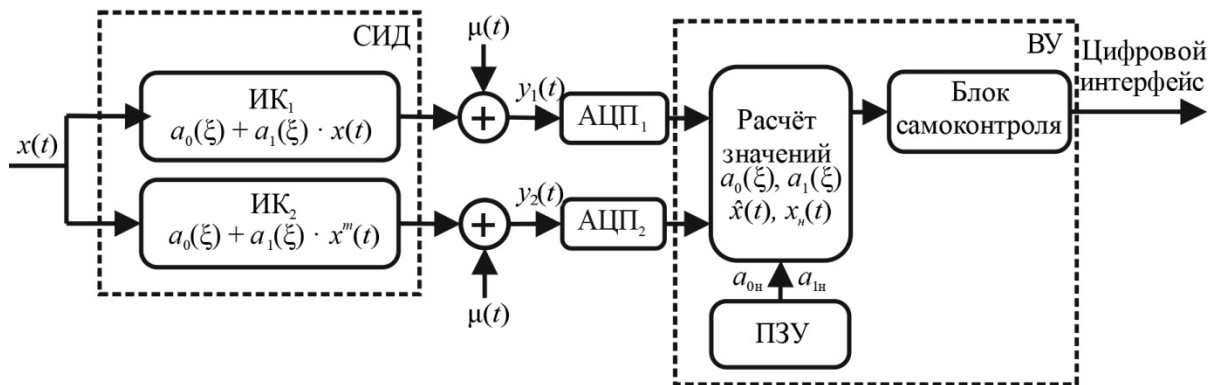


Рис. 4. Схема интеллектуального минимально-избыточного датчика: ИК – измерительный канал, АЦП – аналого-цифровой преобразователь

В процессе метрологического самоконтроля в блоке самоконтроля ИД могут вычисляться и сравниваться с заданными допусками как абсолютная $\Delta_n(t) = x_n(t) - \hat{x}(t)$ или среднеквадратическая σ_x погрешности измерения входного сигнала $x(t)$, так и допустимые значения дрейфа нуля $\Delta a_0(\xi) = a_0(\xi) - a_{0н}$ и дрейфа коэффициента чувствительности $\Delta a_1(\xi) = a_1(\xi) - a_{1н}$. Кроме того, может оцениваться и сравниваться с допустимыми пределами величина остаточной погрешности расчета $\hat{x}(t)$.

Здесь величины $a_{0н}$ и $a_{1н}$ означают номинальные значения параметров статической линейной характеристики СИД, полученные при его калибровке, $x_n(t)$ – значение входного сигнала $x(t)$, рассчитанное с помощью коэффициентов $a_{0н}$ и $a_{1н}$, т.е. без введения структурной избыточности, $\hat{x}(t)$ – более точное значение входного сигнала $x(t)$, рассчитанное с помощью параметров $a_0(\xi)$ и $a_1(\xi)$ с учетом введения структурной избыточности и предварительного нахождения коэффициентов b_0, b_1, \dots, b_m .

Применение интеллектуальных минимально-избыточных датчиков при построении ИИСК метрологической надежности АКМО позволит существенно снизить стоимость системы с обеспечением необходимой точности и достоверности получаемых данных. При этом интеллектуальные датчики должны оставаться метрологически исправными при воздействии на них дестабилизирующих факторов до показателей предельных условий эксплуатации АКМО [12].

Заключение

Рассмотренный подход к построению интеллектуальной измерительной системы контроля метрологической надежности автоматизированного комплекса метрологического обслуживания позволяет обеспечить выполнение измерительной задачи в условиях воздействия на АКМО различного рода дестабилизирующих факторов. При этом ИИС остается устойчивой к воздействию дестабилизирующих факторов за счет применения интеллектуальных датчиков с минимальной структурной избыточностью. Применение интеллектуальных датчиков с предложенной структурой позволяет охватить максимальное количество дестабилизирующих факторов воздействия как внешних, так и внутренних, за счет их миниатюризации и простоты построения. Это, несомненно, повысит уровень метрологической надежности АКМО и снизит вероятность появления ошибок второго рода.

Библиографический список

1. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 2016–06–21. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 23 с.
2. Фридман, А. Э. Теория метрологической надежности : дис. ... д-ра техн. наук: 05.11.15 : защищена 13.01.1995. – Санкт-Петербург, 1995. – 416 с.
3. ГОСТ 8.825–2013. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Введ. 2013–09–06. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 9 с.
4. Селиванова, З. М. Проектирование интеллектуальных информационно-измерительных систем контроля теплофизических свойств материалов / З. М. Селиванова, А. А. Самохвалов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 273–282.
5. Коробов, В. М. Повышение метрологической надежности информационно-измерительных систем / В. М. Коробов // Вестник Псковского государственного университета. Сер.: Экономика. Право. Управление. – 2013. – № 3. – С. 189–195.
6. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация : учеб. пособие / А. Г. Сергеев, М. В. Латышев, В. В. Терегеря. – Москва : Логос, 2003. – 536 с.
7. Раннев, Г. Г. Измерительные информационные системы : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Раннев. – Москва : Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с.
8. Микроэлектронные преобразователи неэлектрических величин : учеб. пособие / А. О. Агеев, В. М. Мамиконова, В. В. Петров, В. Н. Котов, О. Н. Негоденко. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2000. – 153 с.
9. Козырев, Г. И. Методы идентификации средств телеизмерений в условиях воздействия неопределенных дестабилизирующих факторов / Г. И. Козырев. – Санкт-Петербург : ВКА, 1996. – 90с.
10. Белозубов, Е. М. Метрологический самоконтроль интеллектуальных датчиков измерительных и управляющих систем / Е. М. Белозубов, В. А. Васильев, П. С. Чернов // Измерительная техника. – 2018. – № 7. – С. 11–17.
11. Козырев, Г. И. Метод текущей идентификации измерительных систем на основе предварительного функционального преобразования / Г. И. Козырев, С. В. Шкляр, А. В. Назаров // Автоматика и вычислительная техника. – 2000. – № 6. – С. 22–28.
12. Кравцов, А. Н. Метрология : учебник для студентов вузов / А. Н. Кравцов, А. Н. Дорохов, Р. О. Лавров. – Санкт-Петербург : ВКА, 2019. – 315 с.

References

1. GOST 27.002–2015. *Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya. Vved. 2016–06–21* [GOST 27.002–2015. Reliability in technology. Terms and definitions. – Enter. 2016–06–21]. Moscow: Standartinform, 2016, 23 p. [In Russian]
2. Fridman A. E. *Teoriya metrologicheskoy nadezhnosti: dis. d-ra tekhn. nauk: 05.11.15: zashchishchena 13.01.1995* [The theory of metrological reliability of diss. ... d-ra tekhn. date: 05.11.15]. Saint-Petersburg, 1995, 416 p. [In Russian]
3. GOST 8.825–2013. *Datchiki intellektual'nye i sistemy izmeritel'nye intellektual'nye. Vved. 2013–09–06* [GOST 8.825–2013. Intelligent sensors and intelligent measuring systems. Enter. 2013–09–06]. Moscow: Standartinform, 2014, 9 p. [In Russian]
4. Selivanova Z. M., Samokhvalov A. A. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Tambov State Technical University]. 2010, vol. 16, no. 2, pp. 273–282. [In Russian]
5. Korobov V. M. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Ekonomika. Pravo. Upravlenie* [Bulletin of Pskov state University. Ser.: Economics. Right. Management]. 2013, no. 3, pp. 189–195. [In Russian]

6. Sergeev A. G., Latyshev M. V., Teregerya V. V. *Metrologiya, standartizatsiya, sertifikatsiya: ucheb. posobie* [Metrology, standardization, certification: textbook]. Moscow: Logos, 2003, 536 p. [In Russian]
7. Rannev G. G. *Izmeritel'nye informatsionnye sistemy: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy* [Measuring information systems: textbook for students of higher educational institutions]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2010, 336 p. [In Russian]
8. Ageev A. O., Mamikonova V. M., Petrov V. V., Kotov V. N., Negodenko O. N. *Mikroelektronnye preobrazovateli neelektricheskikh velichin: ucheb. posobie* [Microelectronic converters of non-electric quantities: textbook]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2000, 153 p. [In Russian]
9. Kozyrev G. I. *Metody identifikatsii sredstv teleizmereniy v usloviyakh vozdeystviya neopredelennykh destabiliziruyushchikh faktorov* [Methods for identifying means of tele-measurement under the influence of uncertain destabilizing factors]. Saint-Petersburg: VKA, 1996, 90 p. [In Russian]
10. Belozubov E. M., Vasil'ev V. A., Chernov P. S. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement technology]. 2018, no. 7, pp. 11–17. [In Russian]
11. Kozyrev G. I., Shklyar S. V., Nazarov A. V. *Avtomatika i vychislitel'naya tekhnika* [Automation and computer technology]. 2000, no. 6, pp. 22–28. [In Russian]
12. Kravtsov A. N., Dorokhov A. N., Lavrov R. O. *Metrologiya: uchebnik dlya studentov vuzov* [Metrology : textbook for university students]. Saint-Petersburg: VKA, 2019, 315 p. [In Russian]

Козырев Геннадий Иванович

доктор технических наук, профессор,
кафедра телеметрических систем,
комплексной обработки и защиты информации,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: gen-kozyrev@yandex.ru

Kozyrev Gennadiy Ivanovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of telemetric systems,
integrated processing and information protection,
Military Space Academy
named after A. F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, Saint-Petersburg, Russia)

Лавров Роман Олегович

кандидат технических наук, доцент,
заместитель начальника кафедры
метрологического обеспечения вооружения,
военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: 9432923@mail.ru

Lavrov Roman Olegovich

candidate of technical sciences, associate professor,
deputy head of sub-department
of metrological support of weapons, military
and special equipment,
Military Space Academy
named after A. F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, Saint-Petersburg, Russia)

Усиков Валентин Дмитриевич

адъюнкт,
кафедры метрологического обеспечения
вооружения, военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: usikov_1989@list.ru

Usikov Valentin Dmitrievich

adjunct,
sub-department of metrological support of arms,
military and special equipment,
Military Space Academy
named after A. F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, Saint-Petersburg, Russia)

Образец цитирования:

Козырев, Г. И. Построение интеллектуальной измерительной системы контроля метрологической надежности автоматизированного комплекса метрологического обслуживания вооружения и военной техники / Г. И. Козырев, Р. О. Лавров, В. Д. Усиков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 3 (33). – С. 16–24. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-3-2.