

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

А. В. Шилонос

*Научно-исследовательский центр, artemjch@rambler.ru;
ФГКВОУ ВО «Военная академия РВСН имени Петра Великого»,
Балашиха, Россия*

Ключевые слова: интеллектуальный датчик; искусственные нейронные сети; нечеткая логика; точность измерения.

Аннотация: Показана возможность построения интеллектуальной измерительной системы, обеспечивающей точность измеряемой величины с использованием аппарата искусственных нейронных сетей и нечеткой логики в условиях влияющих факторов внешней среды. Рассмотрены вопросы алгоритмической компенсации влияния изменения температуры на измерительную точность прибора, восстановления утраченной измерительной информации в результате прерываний работы, вызванных сбоями или отказами, а также предложена реализация функцией самоконтроля и диагностики технического состояния измерительной системы.

Введение

Актуальность статьи обусловлена целесообразностью в современных условиях санкций осуществлять развитие адаптивных измерительных систем, в которых использование чувствительного элемента, цифрового преобразователя и вычислителя превращает измерительную систему в локальную и компактную систему управления. Подобные устройства можно называть актюаторами – исполнительными устройствами, преобразующими один из видов энергии в другую, которые являются источником получения информации для верхнего иерархического уровня системы управления сложным динамическим объектом даже в условиях, вызывающих нестабильность работы при влияющих факторах внешней среды.

Интеллектуальный датчик

В соответствии с ГОСТ Р 8.673–2009 «Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения», где под интеллектуальным датчиком (ИД) раскрыто понятие адаптивного датчика с возможностью коррекции погрешности, возникающей в результате воздействия влияющих факторов внешней среды, за счет изменения алгоритмов работы с функцией метрологического самоконтроля. Основное отличие ИД состоит в способности самостоятельной адаптивной настройки при изменении условий эксплуатации.

В процессе реальной эксплуатации датчики подвергаются воздействию факторов внешней среды, как правило, в локальной точке измерений. К ним относят температуру, влажность, давление, присутствие активных веществ в газовой среде приборного отсека, гамма-излучение, электромагнитное и световое излучение, нейтронный поток, сверхжесткое и мягкое рентгеновские излучения, вибрации [1].

Под интеллектуальным датчиком понимают датчик со встроенной электроникой. Минимальный набор необходимых функциональных блоков интеллектуального датчика для измерительных и управляющих систем представлен на рис. 1 [2, 3].

В результате анализа научной литературы, а также учитывая условия функционирования измерительной системы с влияющими факторами внешней среды, помимо измерений, преобразования сигнала для ИД, возникает необходимость качественно улучшать технические характеристики. К функциям измерительной системы, которые могут быть применены в перспективной ракетно-космической технике, можно отнести следующие [2 – 4]:

- высокую стабильность измеряемых характеристик в течение длительного периода времени;
- необслуживаемый (автономный) режим работы в течение длительного периода времени от месяцев до нескольких лет;
- повышенную надежность при работе в экстремальных условиях;
- повышение точности датчиков, за счет коррекции погрешностей и возможность автокалибровки;
- реализацию режимов вынужденного периодического отключения и подачи питания;
- возможность самопроверки и коррекцию выходной информации при воздействии дестабилизирующих факторов (изменения параметров окружающей среды);
- хранение и трансляцию измеряемых параметров;
- прогнозирование измеряемых параметров на необходимый период для сохранения точности при возникновении отказов или вынужденных прерываний работы системы управления.

Рассмотрим возможность учета влияющих факторов внешней среды на точность измерения интеллектуального датчика. В качестве основной характеристики датчика будем считать следующую запись [4]:

$$A = F(U, I), \quad (1)$$

где A – измеряемая датчиком величина (интересующая нас); F – характеристики измеряемой величины; U, I – электрические величины на выходе датчика, связанные с измеренной им величиной.

Предполагается, что на выходе датчика используется напряжение U и ток I , далее, для краткости будем использовать величину U .

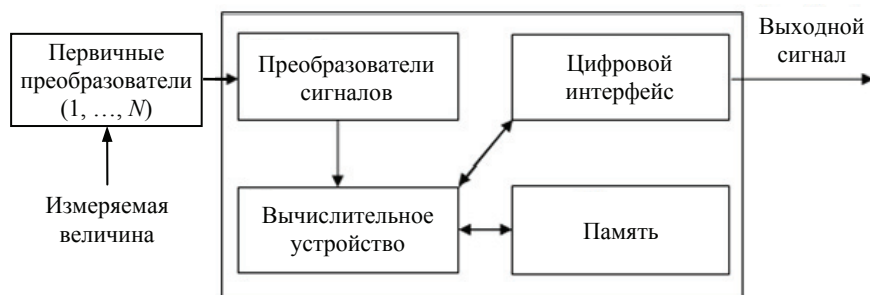


Рис. 1. Схема функциональных блоков ИД

Тогда основную характеристику перепишем с учетом корректирующих факторов

$$A = F(U) + K + Z, \quad (2)$$

где K – фактор, влияющий на измеряемую величину; Z – фактор, обусловленный характеристиками конкретного датчика (калибровочная характеристика).

Фактор влияющей величины представим в общем виде

$$K = F(f(B_k)), \quad (3)$$

где $F(f(B_k))$ – функция преобразования; $f(B_k)$ – передаточная функция влияющей величины; B_k – влияющая величина.

Влияющий фактор может быть одномерным и двумерным. Выражение для одномерной коррекции имеет следующий вид:

$$K = \sum_{j=1}^{K_1} b_j \varphi_j(u); \quad (4)$$

– для двумерной коррекции:

$$K = \sum_{j=1}^K b_j \varphi_j(u, B); \quad (5)$$

$$K = \begin{cases} K = \sum_{j=1}^{K_1} b_{1j} \varphi_{1j}(u), & B = b_1; \\ K = \sum_{j=1}^{K_2} b_{2j} \varphi_{2j}(u), & B = b_2. \end{cases} \quad (6)$$

Фактор калибровочной характеристики, учтенный в (2), представим следующим образом:

$$Z = Z(U) = \sum_{i=0}^N z_i x^i, \quad (7)$$

где z – коэффициенты; x – значения в калибровочных точках.

Как правило, данная функция представляется в виде таблицы значений. Например, при алгоритмической компенсации температурной зависимости составляется таблица, учитывающая изменение масштабного коэффициента маятникового акселерометра от температуры самого измерительного прибора [5, с. 75].

Уточним влияние временного дрейфа на показания датчика, который не зависит от измеряемой величины:

$$A = F(u) + F_t(t). \quad (8)$$

Используя выражения (3), (7), (8), перепишем общее уравнение (2):

$$A = F(u) + F_k(B_k) + F_t(t) + Z, \quad (9)$$

где $F(u)$ – основная характеристика измеряемой величины; $F_k(B_k)$ – коррекция с учетом влияющей величины; $F_t(t)$ – коррекция с учетом временного дрейфа (коррекция нуля в зависимости от продолжительности эксплуатации датчика); Z – коррекция с учетом калибровочной характеристики (учет смещения нуля для конкретного датчика после испытаний).

Полученное уравнение ИД представляет собой уравнение преобразования, в котором учтены калибровочные данные преобразователей, временного дрейфа и величины влияющих факторов.

Влияющие факторы внешней среды являются причиной возрастания погрешности измерений, поэтому проводится поиск оптимальных решений для компенсации данных погрешностей [2 – 6].

Нечеткая логика в компенсации погрешности влияющей величины

Рассмотрим возможность компенсации погрешности влияющей величины, временного дрейфа и калибровочной характеристики с использованием алгоритмической компенсации. Необходимые данные для компенсации влияющих факторов формируют на стендах в режиме статических испытаний и записывают в память в виде табличных данных.

Алгоритмическая компенсация расчета выходной информации с датчика с учетом поправочных коэффициентов состоит в следующем [6]:

– проводится съем значения температуры по информации от платинового термодатчика, установленного в акселерометр;

– из таблицы поправочных величин для данной температуры берется уточненный коэффициент;

– значение поправочного коэффициента (табличного) для данной температуры умножается на выходной сигнал акселерометра.

В качестве примера рассмотрим возможность уточнения масштабного коэффициента при алгоритмической компенсации влияния изменения температуры на измерительную точность маятникового акселерометра. Для этих целей сравним два способа уточнения масштабного коэффициента: первый – основан на использовании табличных данных (предусмотренных производителем); второй способ с использованием возможностей нечеткой логики предполагает сглаживание и более точное определение масштабного коэффициента в промежуточных табличных данных.

Предлагается уточнение масштабного коэффициента, компенсирующего температурную зависимость, используя алгоритмы вывода нечетких правил за счет избыточности информации, содержащейся в терм-множествах. Значение поправочного коэффициента «размывается» на всем диапазоне влияющей величины, а значение поправки масштабного коэффициента вычисляется, используя алгоритмы нечеткого вывода и базы нечетких правил:

$$K_m = \begin{cases} X_1 \forall t_3 \leq t \leq t_1; \\ X_2 \forall t_4 \leq t \leq t_2; \\ X_3 \forall t_5 \leq t \leq t_3; \\ X_4 \forall t_6 \leq t \leq t_4; \\ \dots\dots\dots \\ X_{n-1} \forall t_{n-1} \leq t \leq t_{n-3}; \\ X_n \forall t_n \leq t \leq t_{n-2}. \end{cases} \quad (10)$$

При имитационном моделировании применялся рабочий температурный диапазон акселерометров 15...45 °С, а измерительный прибор градуирован с интервалом в 5 °С.

Для построения базы нечетких правил систем нечеткого вывода необходимо определить значения входных и выходных переменных в виде нечетких чисел. Температура работы акселерометра использовалась в качестве входной переменной (рис. 2, а); в качестве выходной переменной – масштабный коэффициент K_m (значения масштабного коэффициента в зависимости от температуры получены по результатам калибровки акселерометров при статических испытаниях) [6] (рис. 2, б).

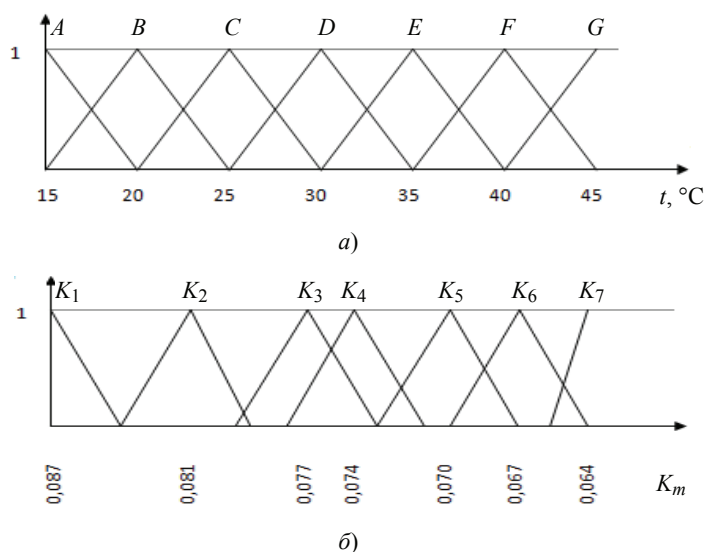


Рис. 2. Нечеткие числа входной переменной (температуры) (а) и выходной (значения масштабного коэффициента) (б)

При каждом получении измерений акселерометра определяется, к каким нечетким множествам принадлежит измеренная температура. К примеру, измеренная температура находится в диапазоне множества G , далее проверяется принадлежность температуры другим множествам. Если температура принадлежит только множеству G , то значение масштабного коэффициента выбирается из множества K_7 , если же помимо множества G температура принадлежит еще и множеству F , тогда значение коэффициента вычисляется, исходя из пересечения входных множеств в диапазоне множеств K_7 и K_6 . Затем полученный масштабный коэффициент складывается с измеренной на нулевом цикле работы поправкой на временную нестабильность акселерометра ΔK_m , и полученный результат K_m участвует в решении бортовой навигационной задачи. На каждом последующем цикле работы алгоритма масштабный коэффициент уточняется в зависимости от температуры работы акселерометра.

Рассмотрим пример его выполнения для случая, когда текущая температура равна $42 ^\circ\text{C}$. В этом случае входная переменная приводит к значению степени истинности 0,4 для множества G и к значению 0,6 для множества F . Соответствующие подусловия используются в K_6 и K_7 и приводят к двум нечетким множествам.

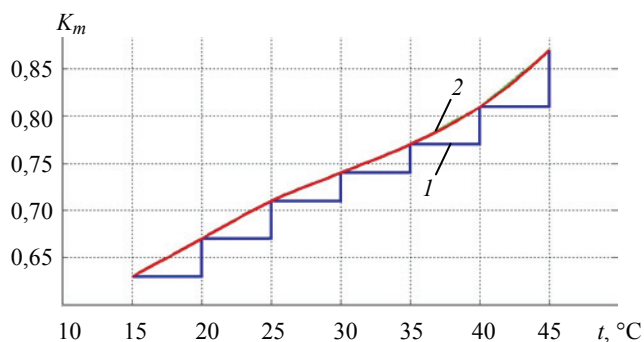


Рис. 3. Результат сравнения двух подходов при уточнении масштабного коэффициента K_m с использованием поправочной таблицы (1) и применением нечеткой логики (2)

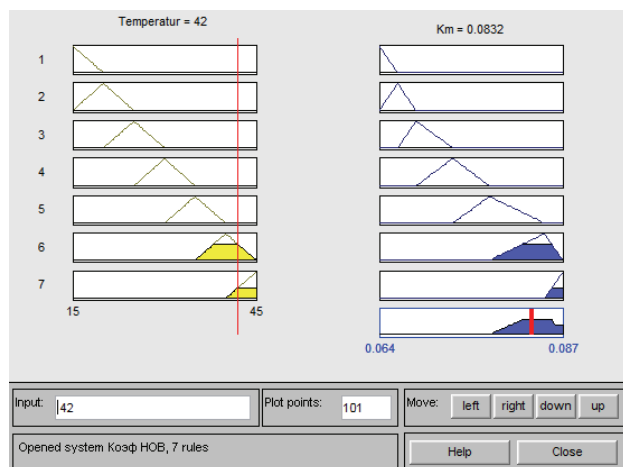


Рис. 4. Вывод значения масштабного коэффициента с использованием нечеткой логики

Выходная переменная «масштабный коэффициент» методом центра площади для значений функции принадлежности приводит к значению $K_m = 0,0832$ (рис. 4).

При значении температуры $42\text{ }^\circ\text{C}$ табличное значение для поправочного масштабного коэффициента составит $0,081$, а с использованием аппарата нечеткой логики – $0,0832$. Методическая погрешность для текущего момента времени работы измерительного прибора составила $0,0022$.

Восстановление утраченной измерительной информации

Вместе с этим для ИД, функционирующих в условиях влияющих факторов внешней среды, требуется восстанавливать отсутствующие измерения в период вынужденного прерывания работы, вызванного сбоями и отказами. Для решения данных задач предлагается использовать аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС).

Рассмотрим возможность применения аппарата ИНС для восстановления утраченной измерительной информации в период вынужденного прерывания работы, связанным со сбоями, отказами. Полагаем, что имеется возможность осуществлять запись текущей измерительной информации на специальный накопитель. Ставится задача – восстановить последовательность временного ряда на период прерывания работы измерительного прибора с учетом имеющейся предыстории измеренных значений. Для более точного восстановления информации будем использовать первые значения приращений после периода прерывания.

Опуская вопросы выбора структуры ИНС, количества слоев, количества нейронов в слое, обучения, которые подробно раскрыты в работах [7, 8], рассмотрим схему восстановления утраченной информации с использование ИНС (рис. 5).

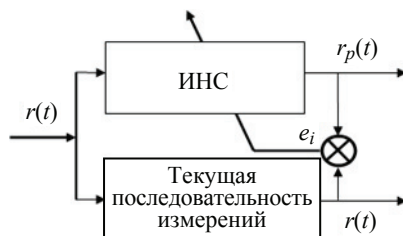


Рис. 5. Схема с идентифицирующей ИНС

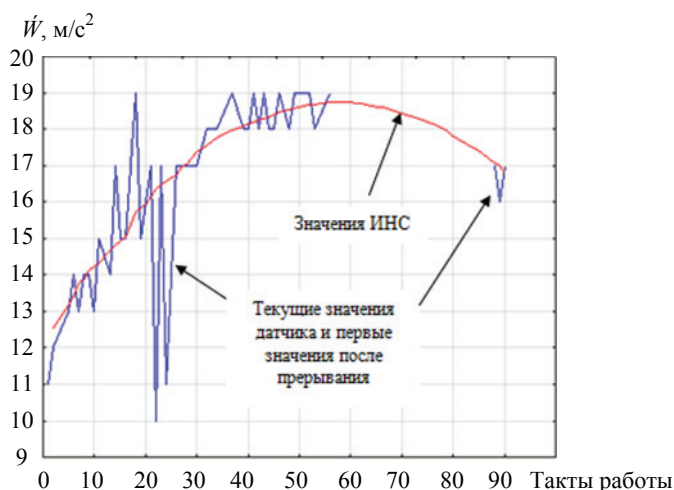


Рис. 6. Результаты работы ИНС при восстановлении утраченной информации в период прерывания работы

На схеме предложен вариант восстановления информации показаний датчика на период вынужденного прерывания его работы, где ИНС обучается при штатной работе ИД по ошибке рассогласования e_i .

На рисунке 6 можно наглядно увидеть, что ИНС прямого распространения сигнала с достаточной точностью аппроксимирует кажущееся ускорение \dot{W} . Вместе с этим при наличии выбросов или шумов во временном ряду, ИНС входные значения сглаживает, что в свою очередь позволяет осуществить достаточно точное восстановление информации.

Для восстановления утраченной измерительной информации в период прерывания работы с использованием ИНС опытным путем установлено, что достаточно трехслойного персептрона с семью нейронами скрытого слоя. Для восстановления 40 пропущенных значений с 55 по 95 такт работы на вход ИНС подавались 55 значений предыстории временного ряда до периода прерывания и три значения после периода прерывания. Моделирование работы ИНС проводилось в программе Statistika.

Контроль и диагностика интеллектуального датчика

Реализацию возможности контроля и диагностики технического состояния датчиков измерительной системы предлагается осуществить с использованием двух ИНС, где M_1 и M_2 – модели объекта контроля (ОК), реализованные в качестве ИНС (рис. 7). Добавление блока интеллектуального классификатора с мажоритарным элементом (МЭ) и блоком принятия решений (БПР) с экспертной системой в виде нечеткой логики позволит осуществлять контроль выходных значений датчика, как объекта контроля, и выявлять отказавший элемент схемы.

На рисунке 7 обозначено: $\Delta_1 = Y_{OK} - Y_{M1}$, $\Delta_2 = Y_{OK} - Y_{M2}$, $\Delta_3 = Y_{M1} - Y_{M2}$ – векторы рассогласований (невязок) между значениями векторов сигналов Y_{OK} , Y_{M1} , Y_{M2} .

Предполагаем, что отказ двух или более блоков в определенный момент времени маловероятен. Тогда в системе могут возникнуть следующие события:

1. «Отказ датчика».
2. «Исправное состояние».
3. «Отказ M_1 » – сбой или аппаратный отказ модуля M_1 с ИНС, неверное вычисление компонент вектора Y_{M1} .
4. «Отказ M_2 » – ошибочное вычисление компонент вектора Y_{M2} .
5. «Неопределенность выхода БПР» информирует об отказе блока сравнения.

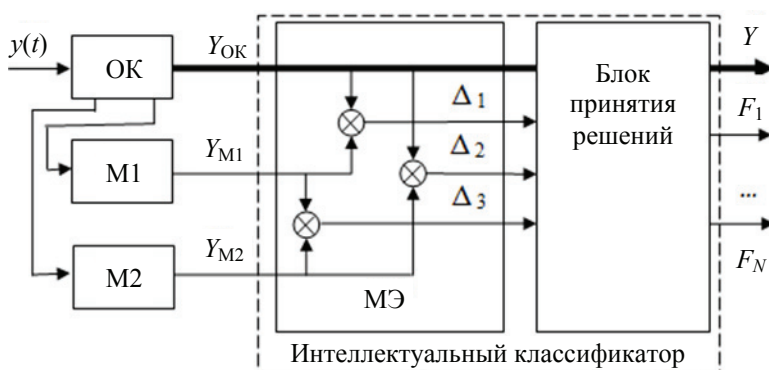


Рис. 7. Схема отказоустойчивого интеллектуального датчика с МЭ и БПР с нечеткой логикой

В таблице 1 отображено влияние рассогласования Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 на наступившие анализируемые события с помощью блока принятия решений. Выходные реакции блока принятия решений $F = 5$. Значения компонент невязок Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 представлены в виде значений лингвистических переменных (терм): «Малое», «Большое».

Нечетким алгоритмом называется упорядоченное множество инструкций (правил), в формулировке которых содержатся нечеткие высказывания. Характеристикой нечеткого множества в данном случае выступает функция принадлежности, в качестве которой выбрана треугольная функция [9].

Логический вывод осуществляется поэтапно [10, 11]:

1. На этапе фаззификации (введения нечеткости) функции принадлежности, определенные на входных переменных, применяются к их фактическим значениям для определения степени истинности каждой предпосылки для соответствующего нечеткого правила.

2. На этапе логического вывода вычисленное значение истинности для предпосылок каждого нечеткого правила применяется к заключениям каждого правила.

С помощью блока принятия решений осуществляется нечеткий логический вывод с использованием системы правил, объединяющих входные вектора и выходные реакции F_1, \dots, F_5 БПР. Рассмотрим пример задания такого правила для события «Исправное состояние датчика»:

Таблица 1

Проявление характера отказов

Событие	Компонент			Реакция БПР (F)
	Δ_1	Δ_2	Δ_3	
Исправное состояние	$\Delta_1 = \text{Малое}$	$\Delta_2 = \text{Малое}$	$\Delta_3 = \text{Малое}$	$F_1 = 0$
Отказ: датчика M1 M2	$\Delta_1 = \text{Большое}$	$\Delta_2 = \text{Большое}$	$\Delta_3 = \text{Малое}$	$F_2 = 1$
	$\Delta_1 = \text{Большое}$	$\Delta_2 = \text{Малое}$	$\Delta_3 = \text{Большое}$	$F_3 = 1$
	$\Delta_1 = \text{Малое}$	$\Delta_2 = \text{Большое}$	$\Delta_3 = \text{Большое}$	$F_4 = 1$
Неопределенность выхода БПР	$\Delta_1 = \text{Малое}$	$\Delta_2 = \text{Малое}$	$\Delta_3 = \text{Большое}$	$F_5 = 1$
	$\Delta_1 = \text{Малое}$	$\Delta_2 = \text{Большое}$	$\Delta_3 = \text{Малое}$	
	$\Delta_1 = \text{Большое}$	$\Delta_2 = \text{Малое}$	$\Delta_3 = \text{Малое}$	
	$\Delta_1 = \text{Большое}$	$\Delta_2 = \text{Большое}$	$\Delta_3 = \text{Большое}$	

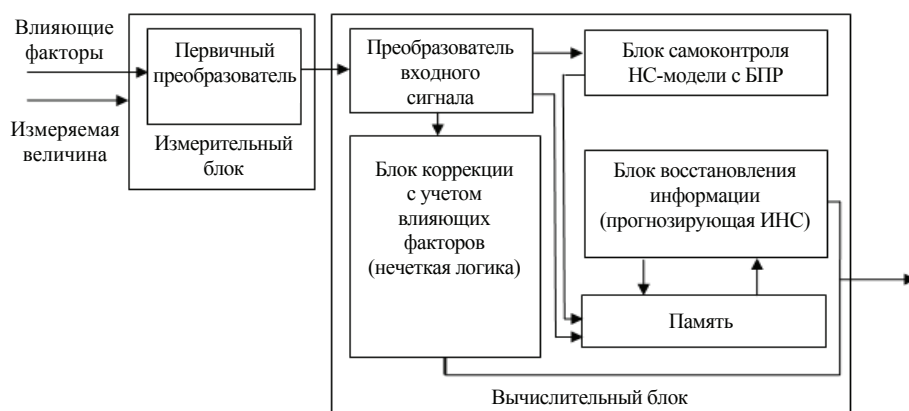


Рис. 8. Структурная схема многофункционального интеллектуального датчика, как части измерительной системы

ЕСЛИ ($\Delta_1 = \text{Малое}$ И $\Delta_2 = \text{Малое}$ И $\Delta_3 = \text{Малое}$), ТО ($F_1 = 0, F_2 = 0, F_3 = 0, F_4 = 0, F_5 = 0$).

Для события «Отказ М1» (нейросетевой модели М1) будет следующее правило:

ЕСЛИ ($\Delta_1 = \text{Большое}$ И $\Delta_2 = \text{Большое}$ И $\Delta_3 = \text{Малое}$), ТО ($F_1 = 1, F_2 = 1, F_3 = 0, F_4 = 0, F_5 = 0$).

Для других событий правила строятся аналогично.

Рассмотрим возможные решения (рекомендации) при обнаружении того или иного отказа:

1. При появлении сигнала «Отказ датчика» следует воспользоваться усреднением сигналов с выхода М1 и М2, то есть

$$Y = \frac{Y_{M1} + Y_{M2}}{2},$$

что позволяет обеспечить более высокую точность Y .

2. При появлении «Отказ М1» или «Отказ М2» система сохраняет работоспособность, но требуется проведение дообучения отказавшей ИНС. В случае, если процедура дообучения прошла неэффективно, отказавшую ИНС исключают из схемы голосования. Система остается двухканальной.

На рисунке 8 предлагается структурная схема разработанного ИД в составе измерительной системы, который состоит из первичного преобразователя – устройства преобразования неэлектрического сигнала в электрический, вычислительного блока, представляющего собой совокупность блоков: преобразователя входного сигнала; масштабирования (с учетом влияющей величины, калибровочной характеристики, временного дрейфа); самоконтроля (на основе ИНС с БПР); восстановления утраченной измерительной информации при появлении сбоев, отказов.

Заключение

Предложен вариант построения интеллектуальных датчиков, обеспечивающий стабильность измеряемых параметров в течение длительного необслуживаемого периода работы, в том числе в условиях внешних дестабилизирующих воздействий, с возможностью восстановления утраченной информации на период вынужденного прерывания работы, а также с функцией самоконтроля и диагностики технического состояния на примере маятникового акселерометра.

Список литературы

1. Хлыбов, В. Ф. Системы термостатирования : учебное пособие / В. Ф. Хлыбов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : [б. и.], 2005. – 420 с.
2. Белозубов, Е. М. Метрологический самоконтроль в интеллектуальных датчиках для информационно-измерительных и управляющих систем / Е. М. Белозубов, В. А. Васильев, П. С. Чернов // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 95 – 98.
3. Лоскутов, А. И. Автоматизация контроля состояния сложных технических систем на основе использования конечно-автоматной модели и нейросетевых структур / А. И. Лоскутов, В. Б. Вечеркин, О. Л. Шестопалова // *Информационно-управляющие системы*. – 2012. – № 2 (57). – С. 74 – 81.
4. Марченко, И. О. Система проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.16 / Марченко Илья Олегович. – Новосибирск, 2015. – 181 с.
5. Применение искусственных нейронных сетей в задачах контроля и диагностики подсистем космических аппаратов. – Текст электронный / Н. С. Абрамов, В. Ф. Заднепровский, А. А. Талалаев, В. П. Фраленко // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 3. – URL : <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13242> (дата обращения: 15.10.2021).
6. Командно-измерительные приборы / Под ред. Б. И. Назарова. – М. : МО СССР, 1987. – 639 с.
7. Буянкин, В. М. Применение искусственной нейронной сети в режиме идентификации динамических параметров электродвигателя / В. М. Буянкин // *Вестн. Моск. гос. техн. ун-та им. Н. Э. Баумана. Серия: Приборостроение*. – 2006. – № 3 (64). – С. 25 – 30.
8. Буянкин, В. М. Нейроидентификация статических и динамических характеристик электропривода / В. М. Буянкин // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2008. – № 9. – С. 43 – 46.
9. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М. : Физматлит, 2001. – 224 с.
10. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
11. Нейросетевая система контроля датчиков углов ориентации и дальности космического аппарата / Ю. Г. Емельянова, К. А. Константинов, С. В. Погодин [и др.] // *Программные системы: теория и приложения*. – 2010. – Т. 1, № 1 (1). – С. 45 – 59.

Intelligent Measuring System Based on Neural Network Technologies and Fuzzy Logic

A. V. Shilonosov

Research Center, artemjch@rambler.ru; Military Academy of the Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Balashikha, Russia

Keywords: intelligent sensor; artificial neural networks; fuzzy logic; measurement accuracy.

Abstract: The paper describes the possibility of constructing an intelligent measuring system that ensures the accuracy of the measured value using the apparatus of artificial neural networks and fuzzy logic under the conditions of influencing

environmental factors. The issues of algorithmic compensation of the influence of temperature changes on the measuring accuracy of the device, restoration of lost measuring information as a result of interruptions in work caused by failures are considered; the implementation of the self-monitoring and diagnostics function of the technical condition of the measuring system is also proposed.

References

1. Khlybov V.F. *Sistemy termostatirovaniya: uchebnoye posobiye* [Temperature control systems: a tutorial], Moscow: [b. i.], 2005, 420 p. (In Russ.)
2. Belozubov Ye.M., Vasil'yev V.A., Chernov P.S. [Metrological self-control in intelligent sensors for information-measuring and control systems], *Fundamental'nyye problemy radioelektronnogo priborostroyeniya* [Fundamental problems of radio electronic instrumentation], 2016, vol. 16, no. 4, pp. 95-98. (In Russ.)
3. Loskutov A.I., Vecherkin V.B., Shestopalova O.L. [Automation of state control of complex technical systems based on the use of a finite automaton model and neural network structures], *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy* [Information and control systems], 2012, no. 2 (57), pp. 74-81. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Marchenko I.O. *PhD Dissertation (Technical)*, Novosibirsk, 2015, 181 p. (In Russ.)
5. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13242> (accessed 15 October 2021).
6. Nazarov B.I. [Ed.] *Komandno-izmeritel'nyye pribory* [Command-measuring devices], Moscow: MO SSSR, 1987, 639 p. (In Russ.)
7. Buyankin V.M. [Application of an artificial neural network in the mode of identification of the dynamic parameters of an electric motor], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Baumana. Seriya: Priborostroyeniye* [Bulletin of the Moscow State Technical University. N. E. Bauman. Series: Instrumentation], 2006, no. 3 (64), pp. 25-30. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Buyankin V.M. [Neuroidentification of static and dynamic characteristics of the electric drive], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye* [News of higher educational institutions. Engineering], 2008, no. 9, pp. 43-46. (In Russ.)
9. Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Yu. *Nechetkaya logika i iskusstvennyye neyronnyye seti* [Fuzzy logic and artificial neural networks], Moscow: Fizmatlit, 2001, 224 p. (In Russ.)
10. Leonenkov A.V. *Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH], St. Petersburg: BKHV-Peterburg, 2003, 736 p. (In Russ.)
11. Yemel'yanova Yu.G., Konstantinov K.A., Pogodin S.V. [et al.] [Neural network control system for spacecraft orientation and range sensors], *Programmnyye sistemy: teoriya i prilozheniya* [Program systems: theory and applications], 2010, vol. 1, no. 1 (1), pp. 45-59. (In Russ., abstract in Eng.)

Intelligentes Messsystem auf Grund der neuronalen Netzwerktechnologien und Fuzzy-Logik

Zusammenfassung: Es ist die Möglichkeit aufgezeigt, ein intelligentes Messsystem aufzubauen, das mit dem Apparat künstlicher neuronaler Netze und Fuzzy-Logik die Genauigkeit des Messwertes unter den Bedingungen beeinflussender Umweltfaktoren sicherstellt. Dabei sind die Fragestellungen der algorithmischen

Kompensation des Einflusses von Temperaturänderungen auf die Messgenauigkeit des Gerätes, Wiederherstellung verlorener Messinformationen infolge störungs- oder störungsbedingter Arbeitsunterbrechungen betrachtet, sowie ist die Implementierung der Selbstkontrollfunktion und Diagnose des technischen Zustands des Messsystems vorgeschlagen.

Système de mesure intelligent basé sur la technologie du réseau neuronal et la logique floue

Résumé: Est montrée la possibilité de construction du système de mesure intelligent qui assure la précision de la valeur mesurée avec l'utilisation de l'appareil des réseaux neuronaux artificiels et de la logique floue dans les conditions des facteurs d'influence de l'environnement extérieur. Sont abordés les problèmes de la compensation algorithmique de l'influence de la température sur la précision de la mesure de l'appareil, la récupération de l'information de mesure perdue à la suite de l'interruption de travail causées par des défaillances ou des erreurs; est proposée la réalisation de la fonction d'autosurveillance et de diagnostic de l'état technique du système de mesure.

Автор: *Шилоносев Артем Владимирович* – докторант научно-исследовательского центра, ФГКВООУ ВО «Военная академия РВСН имени Петра Великого», Балашиха, Россия.