

На правах рукописи



Марченко Илья Олегович

**СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ**

Специальность: 05.11.16 – информационно-измерительные и управляющие
системы (в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Полубинский Владимир Львович

Официальные оппоненты: Селиванова Зоя Михайловна,
доктор технических наук, профессор,
Тамбовский государственный технический университет, профессор кафедры
конструирования радиоэлектронных и
микропроцессорных систем

Юрченко Алексей Васильевич,
доктор технических наук,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, профессор
кафедры информационно-измерительной
техники

Ведущая организация: ФГУП «Сибирский государственный ордена
Трудового Красного Знамени научно-
исследовательский институт метрологии»,
г. Новосибирск

Защита состоится «31» марта 2015 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.212.173.05 при НГТУ по адресу: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного технического университета и на сайте <http://www.nstu.ru>.

Автореферат разослан «25» февраля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чехонадских Александр Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Экспериментальные исследования некоторого объекта или явления, испытания промышленных изделий, управление механизмами или процессами немислимы без измерений физических величин, характеризующих состояние объекта. Поэтому в состав любой измерительной, испытательной или управляющей системы в качестве важнейших компонентов входят первичные измерительные преобразователи – датчики. Основной функцией датчиков является преобразование значений разнообразных физических величин в электрическую – напряжение, силу тока, частотно-временной параметр электрического сигнала.

В перечне задач, которые необходимо решать при разработке и применении измерительных систем, одной из самых важных является то, что необходимо измерять не одну, а различные физические величины – например, давление, вибрации, скорость вращения, деформации, использовать различные по принципу действия, характеристикам и конструктивному исполнению датчики.

Анализ методик получения информации с помощью датчиков, проводившийся специалистами в течение многих лет, показал, что решать эти проблемы необходимо в комплексе, с учетом особенностей интеграции датчиков в системы, с учетом перспектив развития микроэлектроники, схемотехники, микропроцессорной техники и других факторов. А это возможно, если датчики будут выполнять не только свою основную функцию – преобразование физических величин, но и ряд функций, которые реализуются последующими звеньями измерительной системы, в том числе специальные функции.

Эти идеи многофункциональности датчиков изучались Цапенко М.П., Алейниковым А.Ф., Гридчиным В.А. Также подходы к решению этой проблемы можно найти, например, в работах Тайманова Р.Е. и Сапожниковой К.В., посвященных концепции интеллектуального датчика как датчика с метрологическим самоконтролем, а также в работах .

Подобные датчики получили название интеллектуальных (Smart Sensor), и в их состав, согласно работам Ицковича Э.Л., кроме собственно чувствительного элемента, могут входить: соответствующая измерительная схема, аналоговые преобразователи (усилитель, фильтр и т.п.), аналого-цифровой преобразователь, микропроцессор (для цифровой обработки, например, линеаризации, диагностики), контроллер промышленной сети.

Подходы к терминологии интеллектуальных датчиков начали разрабатываться с 1980-х годов. В этот период такие авторы, как Иванов В.Н., Орнатский П.П., Соболев В.С., Цветков Э.И. в публикациях в специализированных журналах обсуждали термины «интеллектуальные

средства измерений», «интеллектуальные измерительные комплексы», развитие теории интеллектуальных измерительных систем. Затем, в 90-е годы, тема разрабатывается более подробно авторами: Бунин В.И., Цапенко М.П., Романов В.Н., Соболев В.С., Цветков Э.И. Однако, только с развитием микроэлектроники в 2000-е годы, увеличилось количество публикаций по данной тематике.

Более поздние работы таких авторов, как Селиванова З.М., Слепцов В.В., Подбельский А.Н., Стасенко К.С., Артемова С.В., Третьяков В.В., Удод Е.В., Пьявченко О.Н., Крутчинский С.Г., Клевцов С.И., Пьявченко А.О., Панич А.Е., Сапронов П.В., Васильев В.А., Чернов П.С., Бельчанская Е.Н., посвящены уже практическим вопросам применения интеллектуальных датчиков в разных отраслях.

В работах Рейзмана А.Я., Островского М.А., Красовского В.Е. предлагается подход, основанный на использовании языка функциональных блок-диаграмм (ФБД МЭК 1131-3), однако, не учитывается расширенный функционал интеллектуальных датчиков и выполнение нескольких измерительных функций с коррекцией показаний.

За рубежом также проводились исследования в данном направлении. Результатом является принятие семейства стандартов IEEE 1451. Этим семейством стандартов описывается организация хранения данных конкретного датчика и протоколы обмена датчика с внешними системами. Имеются публикации о разработке датчиков с коррекцией показаний. Однако вопросам создания и функционирования многофункциональных датчиков с несколькими преобразователями, способными выполнять разные алгоритмы обработки, уделяется значительно меньше внимания.

Следовательно, центральной задачей является разработка технологий и алгоритмов проектирования и функционирования многофункциональных интеллектуальных датчиков, позволяющих создавать гибкие, использующие разнообразные первичные преобразователи, интеллектуальные датчики со сложным функционалом.

Цель работы.

Целью настоящей диссертационной работы является разработка и исследование новых принципов построения информационно-измерительных систем и создания многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков, позволяющих упростить и облегчить разработку информационно-измерительных систем.

Основные задачи. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Анализ семейства стандартов интеллектуальных датчиков IEEE 1451 и разработка схемы проектирования датчиков с электронными таблицами.

2. Исследование зависимостей результатов измерений первичных преобразователей от влияющих параметров и создания математической модели для разных видов датчиков.

3. Анализ требований к многофункциональному реконфигурируемому интеллектуальному датчику.

4. Разработка и исследование обобщённого алгоритма функционирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков.

5. Разработка системы проектирования интеллектуальных датчиков и оценка основных параметров алгоритмов, заложенных в созданную систему.

Научная новизна.

1. Предложен новый класс интеллектуальных датчиков – многофункциональные реконфигурируемые интеллектуальные датчики, алгоритм работы которых учитывает влияющие факторы (например, состояние окружающей среды) и другие, указанные при проектировании изделия, величины.

2. Разработана и исследована математическая модель реконфигурируемого датчика – обобщённое уравнение, учитывающее измерительные характеристики преобразователей и влияние внешних факторов на результат измерения, являющееся основой для полного цифрового паспорта датчика, хранящего все характеристики (включая зависимости от влияющих факторов) в цифровом виде.

3. С учётом обобщённого уравнения разработан, исследован и экспериментально обоснован алгоритм функционирования интеллектуального датчика, использующий цифровое описание, как основной зависимости преобразователей, так и зависимостей от влияющих факторов.

4. Предложена система проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков, позволяющая разрабатывать датчики заданием параметров на основе графического интерфейса пользователя, без использования программирования.

Практическая ценность.

Разработанная система проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков позволяет сконфигурировать многофункциональный датчик, предназначенный для работы в разных условиях и способный выполнять различный набор измерительных задач.

Ряд разработок, в частности – практикум «Интеллектуальные датчики с электронными таблицами» – внесён в официальный каталог корпорации National Instruments и рекомендован для использования в разработках компании.

Разработаны программно-аппаратные комплексы для обучения принципам построения интеллектуальных датчиков: «Интеллектуальные

датчики с электронными таблицами», «Мониторинг параметров окружающей среды». Они используются в обучении студентов направлений и специальностей «Приборостроение», «Биомедицинская инженерия», «Биотехнические системы и технологии», «Информационные системы и технологии» в НГТУ, а также в других университетах страны.

Методы исследования. В диссертационной работе использовались теория систем, теория графов, теория множеств, теория функций нескольких переменных, физическое моделирование. В экспериментальной части применялись методы структурного и объектно-ориентированного программирования.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Многофункциональный реконфигурируемый интеллектуальный датчик (МРИД).
2. Алгоритм работы МРИД на основе обобщённого уравнения, позволяющий унифицированным образом учитывать характеристики преобразователей и влияние внешних факторов на результат измерения.
3. Система проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков.
4. Результаты исследований погрешностей вычислений обобщённого уравнения и коррекций влияющих факторов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. В работе рассматривается создание системы проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков, которые могут обладать гибким набором функциональных возможностей, и работающих с учётом набора влияющих факторов. Поэтому для работы будут справедливы пункты из областей исследования, в соответствии с паспортом специальности:

- методы и системы программного и информационного обеспечения процессов отработки и испытаний образцов информационно-измерительных и управляющих систем;
- исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов, частей, образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений.

В целом работа соответствует направлению «Создание и совершенствование сложных информационно-измерительных и управляющих систем, комплексов их контроля и испытания».

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных, всероссийских и региональных конференциях:

- International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering “SIBIRCON 2008” (Новосибирск, 2008);
- Международная научная конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения», АПЭП-2010, АПЭП-2014 (Новосибирск, 2010, 2014);
- Всероссийская научная конференция молодых ученых «Наука Технологии Инновации» (Новосибирск, 2005);
- Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments (Москва, 2006, 2007, 2008);
- Научно-техническая конференция «Виртуальные и интеллектуальные системы» ВИС-2007, ВИС-2013 (Барнаул, 2007, 2013);
- Межвузовская научная студенческая конференция МНСК-2005, МНСК-2006 «Интеллектуальный потенциал Сибири» (Новосибирск, 2005, 2006).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ. Из них 3 статьи в изданиях, входящих в перечень, рекомендованный ВАК РФ, и 9 докладов в сборниках докладов международных и всероссийских конференций.

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследования, проведении теоретических исследований, разработке аппаратного и программного обеспечения, выполнении практических испытаний, анализе и обобщении полученных результатов, формулировке выводов и положений, выносимых на защиту.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы – 181 страница, включая 170 страниц основного текста, 89 рисунков и 34 таблицы. В список литературы включено 91 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, представлены цели и задачи исследования, раскрывается актуальность исследования, новизна полученных результатов, практическая значимость. Приводится перечень вопросов, выносимых на защиту.

В **первой главе** проводится анализ существующего состояния дел в области интеллектуальных измерительных систем. Затрагиваются вопросы определения интеллектуальных измерительных систем, проводится анализ семейства стандартов IEEE 1451. Рассматриваются определения многофункционального датчика.

Имеющиеся на сегодняшний день определения интеллектуального датчика, как правило, учитывают только один аспект его работы – или наличие

вычислительного блока, или коррекцию показаний, или выполнение дополнительных функций. В нормативных документах (ГОСТ) учитывается только метрологическая коррекция показаний, но не учитывается возможность выполнения других не менее полезных функций. По мнению автора, назрела необходимость включить в определение возросшие возможности интеллектуальных датчиков.

Автором предложено понимать под интеллектуальным датчиком преобразователь, содержащий один или несколько первичных преобразователей и оснащённый АЦП для представления измеренных данных в цифровом виде и вычислительным блоком для коррекции измеренного значения с учётом влияющих факторов и выполнения дополнительных функций: обработки, преобразования, хранения и передачи данных.

Основой для предлагаемой классификации (рисунок 1) функций интеллектуальных датчиков является распределение их по назначению, типам используемой информации и объектам действия.

Во **второй главе** даётся определение многофункционального интеллектуального датчика, изучаются сложные зависимости датчиков, формулируется обобщённое уравнение интеллектуального датчика и обобщённый алгоритм на основе этого уравнения.

С учётом предложенной автором работы классификации функций многофункциональных интеллектуальных датчиков (рисунок 1), предлагается определение, основанное на функциональном подходе.

Многофункциональный интеллектуальный датчик — интеллектуальный датчик, содержащий один или несколько первичных преобразователей, выполняющий основную измерительную и дополнительные функции: анализа (прогнозирования) и управления.

Каждый датчик в своей реальной эксплуатации подвергается действию влияющих факторов. Результаты измерений, таким образом, могут зависеть от значений конкретных влияющих величин. Для простого датчика с единственным первичным преобразователем задача отслеживания влияния факторов представляется затруднительной.

На практике, всё большее распространение получают датчики с несколькими первичными преобразователями, для которых уже вполне возможно отслеживание влияния других величин на основной результат измерения. В литературе такие авторы, как Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П., первые датчики называют одномерными, вторые – двух- и более мерными.

Для тех датчиков, которые подвержены влиянию другой величины на основной результат измерения, есть смысл говорить о сложных зависимостях. Под сложной зависимостью здесь мы имеем в виду математическое уравнение выходного значения, в которое входит более одной входной величины.

Функции интеллектуальных датчиков	
Функции преобразования	<ul style="list-style-type: none"> • Восприятие физической величины • Дополнительные преобразования • Преобразование величины в код • Коррекция результата
Функции информационные	<ul style="list-style-type: none"> • Тип датчика • Заводской номер • Основные технические характеристики • Установленный диапазон измерения • Установленная шкала • Параметры настройки сенсора • Идентификатор рабочей версии ПО • Архив метрологических проверок • Срок очередной поверки
Функции конфигурирования	<ul style="list-style-type: none"> • Диапазон и единицы измерения • Интервал измерения • Параметры фильтров
Функции контроля и прогнозирования	<ul style="list-style-type: none"> • Анализ изменений измеряемой величины • Анализ изменения состояния среды измерений • Контроль выхода значений измеряемой величины за допустимые пределы • Контроль выхода значений параметров окружающей среды за допустимые нормы
Функции самодиагностики	<ul style="list-style-type: none"> • Некритические • Критические
Функции управляющие	<ul style="list-style-type: none"> • Автоматических регуляторов • Устройств блокировки • Устройств автоматического включения/отключения

Рисунок 1 – Классификация функций интеллектуальных датчиков.

Для получения этих зависимостей автором работы производилась оценка показаний датчиков по указанному в спецификациях конкретного датчика графику функции преобразования датчика. Оценка зависимости показаний от изменения внешних параметров проводилась аналогичным образом. Далее, для получения аналитического выражения, в приведённых примерах использовалась аппроксимация методом наименьших квадратов в Microsoft Excel.

Далее представлены примеры зависимостей для газовых датчиков (детектирование взрывоопасных, токсичных газов) и датчика влажности.

Кривые графиков построены на основе официальных паспортных данных этих преобразователей.

Датчик TGS2610 (производитель – Figaro) представлен на рисунке 2.

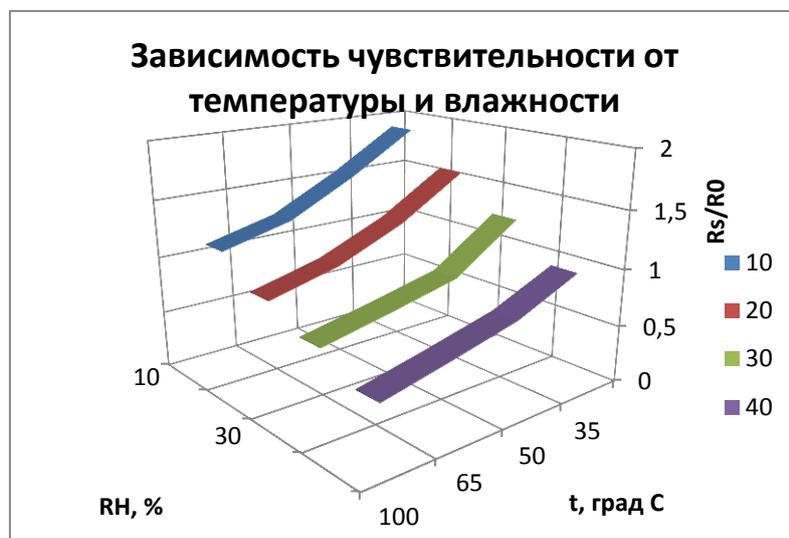


Рисунок 2 – Графики зависимостей от влажности при различной температуре для датчиков TGS2610

Датчик TGS2442 (производитель – Figaro) представлен на рисунке 3.

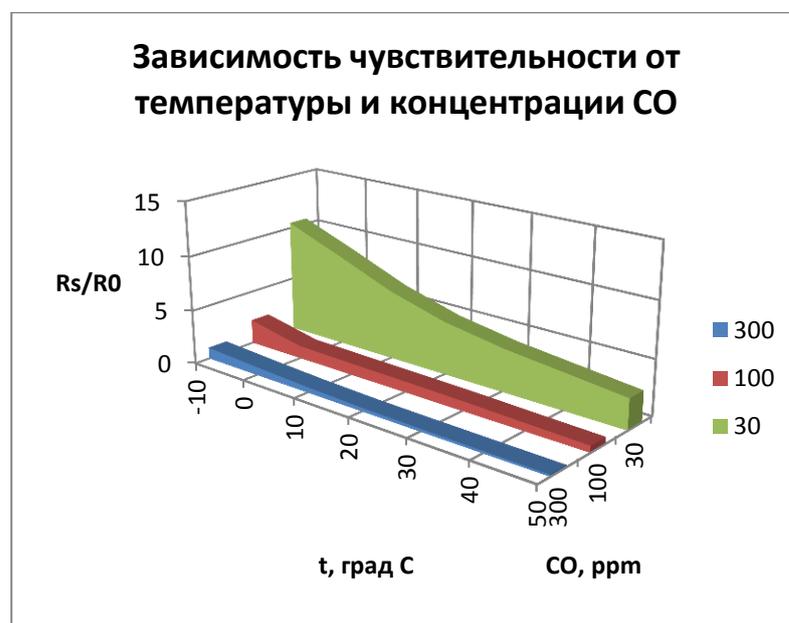


Рисунок 3 – Графики зависимостей от влажности и концентрации CO для датчиков TGS2442

Датчик SHT75 (производитель - Sensirion) представлен на рисунке 4.

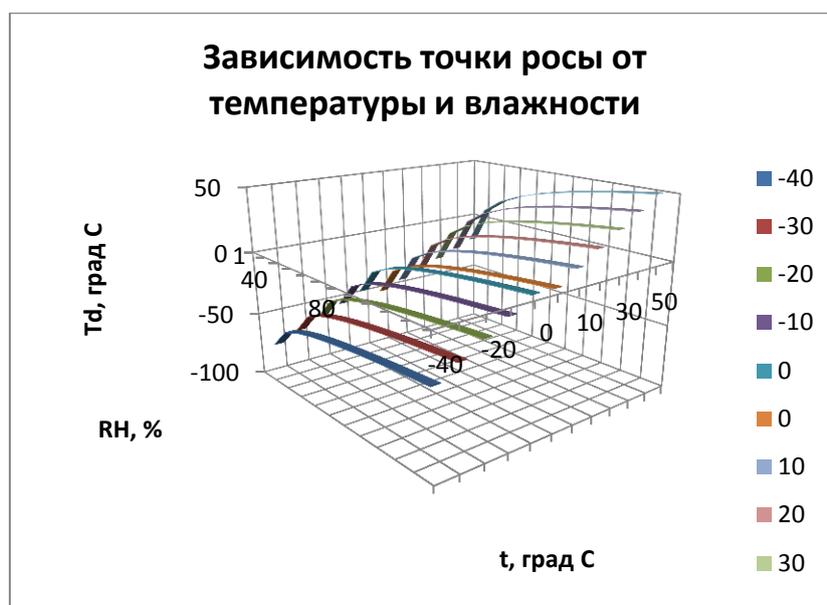


Рисунок 4 – График зависимости точки росы от температуры и влажности

Необходимость получения этих зависимостей в аналитическом или аппроксимированном виде обусловлена следующими соображениями:

1. Кривые зависимостей до сих пор имелись только в виде графиков в спецификациях датчиков, теперь же они могут быть использованы в измерительной системе

2. Кривая зависимости отражает поведение семейства датчиков, с учётом калибровки конкретных экземпляров, она будет справедливой для всех датчиков данного семейства

3. Изначальное предоставление зависимостей в цифровом виде производителями датчиков позволит упростить проектирование и настройку измерительных систем

Несколько примеров полученных уравнений датчиков с разными зависимостями, для основного фактора – измеряемой величины:
 $y = 357,2408e^{0,0344x}$, $y = 10\,632,2857x^{-1,9697}$, $y = 0,0003x^2 - 0,0436x + 1,9625$.

Получаемые уравнения могут иметь сильно различающийся вид, в частности, экспоненциальный, степенной, многочлен n-ой степени. Кроме того, коэффициенты, входящие в данные уравнения, могут иметь зависимость от влияющего фактора, таким образом, конечная зависимость будет уже иметь двумерный вид, для двух исходных параметров – основного и влияющего фактора.

Для описания всего многообразия уравнений автором предложено их систематизировать и записать в виде общего уравнения.

Основную характеристику преобразователя можно определить либо эмпирически, либо теоретически. В первом способе нахождение сводится к испытаниям серии датчиков и нахождению уравнения кривой по результатам

испытаний. Во втором способе, зная материал изготовления, используемые технические решения и физические явления, можно аналитически вывести основную характеристику, справедливую для всех экземпляров данной модели.

Основная характеристика датчика может быть записана:

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

где A – отклик от измеряемой датчиком величины (интересующая нас величина),

F – функция характеристики,

U, I, R – электрические величины на выходе датчика, связанные с измеренной им величиной. Далее, для краткости, предполагается, что на выходе датчика используется напряжение U .

Функция характеристики может иметь линейный, степенной, экспоненциальный и более сложный вид. Поэтому представим основную характеристику как

$$A' = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \psi_i(u). \quad (2)$$

Здесь:

A' – искомая величина, a_i – коэффициенты, $\psi_i(u)$ – базовые функции.

Базовыми функциями могут являться функции вида:

$$S = a + b \cdot \ln(u), \quad (3)$$

$$S = a \cdot e^{k \cdot u}, \quad (4)$$

$$S = a \cdot k^u, \quad (5)$$

$$S = \sum_{i=0}^N a_i \cdot u^i. \quad (6)$$

Запишем нашу характеристику с учётом корректирующих факторов.

$$A = F(\{U, I, R\}) + K + Z. \quad (7)$$

K – фактор влияющей второстепенной величины,

Z – фактор, обусловленный характеристиками конкретного экземпляра (калибровочная характеристика).

Фактор влияющей второстепенной величины можно представить в общем виде как

$$K = F(f(A_k)), \quad (8)$$

где A_k – влияющая величина,

$f(A_k)$ – передаточная функция влияющей величины для данного конкретного датчика,

$F(f(A_k))$ – функция преобразования.

Фактор калибровочной характеристики можно представить как

$$Z = Z(\{U, I, R\}) = \sum_{i=0}^N a_i x^i, \quad (9)$$

где x – значения в калибровочных точках, a – коэффициенты.

Как правило, данная функция представляется в виде таблицы значений.

На практике, влияющий фактор может быть одномерным и двумерным.

Запишем выражение для одномерной коррекции.

$$K = \sum_{j=1}^K a_j \cdot \psi_j(u). \quad (10)$$

Здесь $\psi_j(u)$ также может быть из ряда (3), (4), (5), (6).

Запишем выражение для двумерной коррекции. Учтём при этом, что влияющая функция может иметь как аналитическую зависимость от второй величины, так и табличную.

$$K = \sum_{j=1}^K a_j \cdot \psi_j(u, A_2). \quad (11a)$$

$$K = \left\{ \begin{array}{l} K = \sum_{j=1}^{K_0} a_{0j} \cdot \psi_{0j}(u), A_2 = a_0 \\ K = \sum_{j=1}^{K_1} a_{1j} \cdot \psi_{1j}(u), A_2 = a_1 \\ K = \sum_{j=1}^{K_2} a_{2j} \cdot \psi_{2j}(u), A_2 = a_2 \end{array} \right\}. \quad (11б)$$

Отдельно следует отметить влияние временного дрейфа на показания датчика.

Исходя из предположения, что временной дрейф не зависит от измеряемой величины, запишем

$$A' = F_1(U) + F_t(t). \quad (12)$$

$$A_t = F_t(t). \quad (13)$$

A_t также можно представить в виде суммы базовых функций

$$A_t = \sum_{i=1}^N a_{ti} \cdot \psi_{ti}(t). \quad (14)$$

При этом возможно различать кратковременный и долговременный дрейф показаний, кратковременный дрейф – в течение часа после включения, и долговременный – общее время работы от суток и более.

Используя выражения (2), (9), (10), (14), перепишем общее уравнение (7)

$$A = F(u) + F_k(A_k) + F_t(t) + Z, \quad (15)$$

где $F(u)$ – основная характеристика,

$F_k(A_k)$ – коррекция с учётом влияющей величины,

$F_t(t)$ – коррекция с учётом временного дрейфа,

Z – коррекция с учётом калибровочной характеристики.

Окончательный вид обобщённого уравнения:

$$A = \sum_{i=1}^N a_i \cdot \psi_i(u) + \sum_{j=1}^{N_k} a_{K_j} \cdot \psi_{K_j}(u) + \sum_{i=1}^{N_t} a_{ti} \cdot \psi_{ti}(t) + \sum_{i=0}^N a_{zi} \cdot x^i. \quad (16)$$

Полученное обобщённое уравнение интеллектуального датчика представляет собой уравнение преобразования, в котором учтены величины влияющих факторов, временного дрейфа, а также калибровочные данные преобразователей.

Обобщённое уравнение многофункционального интеллектуального датчика является основой для алгоритма работы этого датчика. При использовании данного уравнения можно представить характеристики первичных преобразователей и датчиков в цифровом виде. Благодаря этому, становится возможным создать такой алгоритм работы программного обеспечения многофункционального интеллектуального датчика, который был бы инвариантным к характеристикам конкретных первичных преобразователей.

Обобщённое уравнение позволит:

- учесть все влияющие факторы результата измерений и реализовать двух- или более мерную интерполяцию сложных зависимостей;
- закодировать составляющие в цифровом виде, для использования при измерениях;
- унифицировать программное обеспечение интеллектуальных датчиков;
- задавать характеристики интеллектуального датчика только путём изменения параметров уравнения, не изменяя его программы;
- добиться снижения затрат на проектирование и производство измерительных систем.

В **третьей главе** предлагается аппаратная реализация реконфигурируемого многофункционального интеллектуального датчика, позволяющая реализовать обобщённый алгоритм работы с любыми первичными преобразователями, и система разработки таких датчиков.

Автором предлагается унифицированная реконфигурируемая платформа для создания датчиков.

Реконфигурируемый интеллектуальный датчик – интеллектуальный датчик, который может быть легко переконфигурирован для использования с другими первичными преобразователями и в других условиях применения без изменений на аппаратном уровне.

На рисунке 5 показана предлагаемая структурная схема МРИД.

Первичный преобразователь (датчик/сенсор) – устройство преобразующее неэлектрический сигнал в электрический, устройство воспринимающее входное воздействие.

Измерительная цепь – совокупность электронных элементов, необходимых для работы первичного преобразователя, а также для масштабирования, фильтрации входного сигнала. Количество, назначение и параметры элементов измерительной цепи зависит от типа и параметров первичных преобразователей.

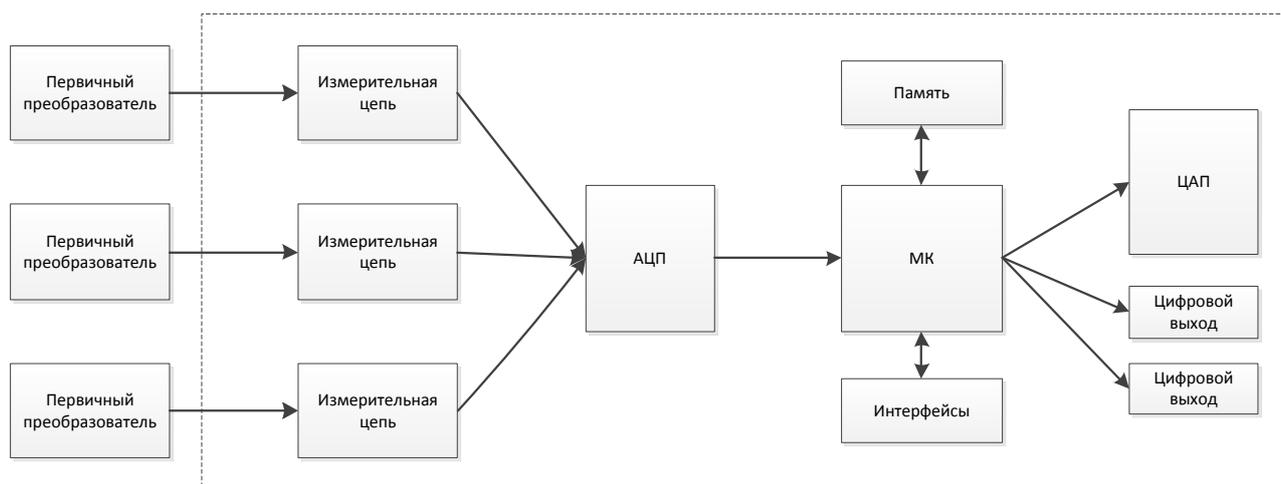


Рисунок 5 – Структурная схема МРИД

Экземпляр многофункционального реконфигурируемого интеллектуального датчика, сконфигурированного под свои конкретные условия и назначения применения, является целью проектирования в предлагаемой **системе разработки интеллектуальных датчиков**. Система состоит из нескольких подсистем, составляющих в своей совокупности комплекс средств аппаратного, программного, методического и организационного характера, все они показаны на рисунке 6. Многофункциональный реконфигурируемый интеллектуальный датчик также является одной из составляющих этой системы.



Рисунок 6 – Схема системы проектирования реконфигурируемых интеллектуальных датчиков

Многофункциональный реконфигурируемый интеллектуальный датчик предназначен для измерения нескольких величин с учётом характеристик окружающей среды и выполнения при этом каких-либо дополнительных функций, таких как: преобразования (измерительные), информационные, конфигурирования, контроля и прогнозирования, самодиагностики, управляющие. В максимальном варианте предполагается, что имеются объекты измерения и объекты управления.

Ядро интеллектуального датчика функционирует под управлением специальной мастер-программы. Эта программа одинакова для всех экземпляров на основе одной архитектуры микроконтроллера. Различия между разными архитектурами микроконтроллера сводятся к учёту особенностей организации памяти и ввода/вывода в данной архитектуре микроконтроллера.

Мастер-программа имеет два режима функционирования – «измерительный» и «конфигурирования». «Измерительный» режим является основным. В этом режиме программа работает с учётом заданной датчику конфигурации: количества используемых каналов, типов используемых преобразователей, характеристик используемых преобразователей, основного уравнения преобразования датчика, других сконфигурированных функций датчика. Эта конфигурация задаётся для датчика в режиме «конфигурирования». Здесь в датчик записывается конфигурационный блок, полностью описывающий функционал, характеристики и параметры датчика. Блок конфигурационных параметров формируется и записывается с помощью системы конфигурирования интеллектуальных датчиков.

Система конфигурирования интеллектуальных датчиков занимает центральное место в общей картине проектирования и использования многофункциональных интеллектуальных датчиков. Процесс конфигурирования реализуется программой конфигурирования интеллектуальных датчиков, реализующей несколько основных положений. Первое положение – это удобный пользовательский интерфейс, позволяющий оператору задавать параметры проектируемого интеллектуального датчика, при этом ему не требуется слишком высокая квалификация. Второе положение – использование обобщённого уравнения для задания уравнения преобразования датчика. В обобщённое уравнение входят измерительная, корректировочная, калибровочная и временная части. Третье положение состоит в числовом задании зависимостей используемых первичных преобразователей. Зависимости преобразователей разделяются на основную, калибровочную и влияющие. Все эти зависимости представляются и хранятся в **информационной системе** в числовом виде. Для представления зависимости в числовом виде в самом интеллектуальном датчике используется специальный формат хранения данных, основанный на стандарте IEEE 1451 (TEDS). Четвёртое положение заключается в использовании отдельного хранилища для

версий мастер-программ для разных архитектур микроконтроллеров, используемых в проектируемых многофункциональных интеллектуальных датчиках. Сами мастер-программы разрабатываются в **системе разработки программы для новых версий интеллектуальных датчиков**. Все параметры интеллектуального датчика собираются в конфигурационный блок, который полностью описывает функционал и характеристики экземпляра датчика. Конфигурационный блок содержит, вкратце, следующие группы параметров: идентификационные параметры датчика и используемых первичных преобразователей, калибровочные и влияющие характеристики первичных преобразователей, запись обобщённого уравнения интеллектуального датчика с учётом его характеристик, функционал и конкретные параметры по задействованным функциям из всех шести групп функций. Вместе с использованием единой мастер-программы, становится возможным в широких пределах менять функциональность и характеристики одного и того же экземпляра датчика.

В **четвёртой главе** предлагается система проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков. Подробно рассматриваются структурные и пользовательские аспекты программного обеспечения для конфигурирования реконфигурируемых интеллектуальных датчиков. Решаются вопросы реализации пользовательского интерфейса, реализации протокола обмена с устройством реконфигурируемого интеллектуального датчика, реализации информационной части системы проектирования.

Система проектирования предназначена для более быстрого, более лёгкого и более успешного конфигурирования параметров датчиков с помощью графического интерфейса. Задачи, решаемые системой проектирования:

- 1) задание основных параметров проектируемого датчика;
- 2) определение функциональности датчика;
- 3) хранение ранее заданных конфигураций для последующего использования;
- 4) удобное задание характеристик преобразователей и их хранение.

На рисунке 7 показана упрощённая блок-схема алгоритма работы программы конфигурирования МРИД. В первой части алгоритма производится конфигурирование общесистемных параметров, таких как идентификационные данные, измерительные данные, данные уравнений и т.п. Во второй части производится конфигурирования выполнения каждой из заданных функций интеллектуального датчика.

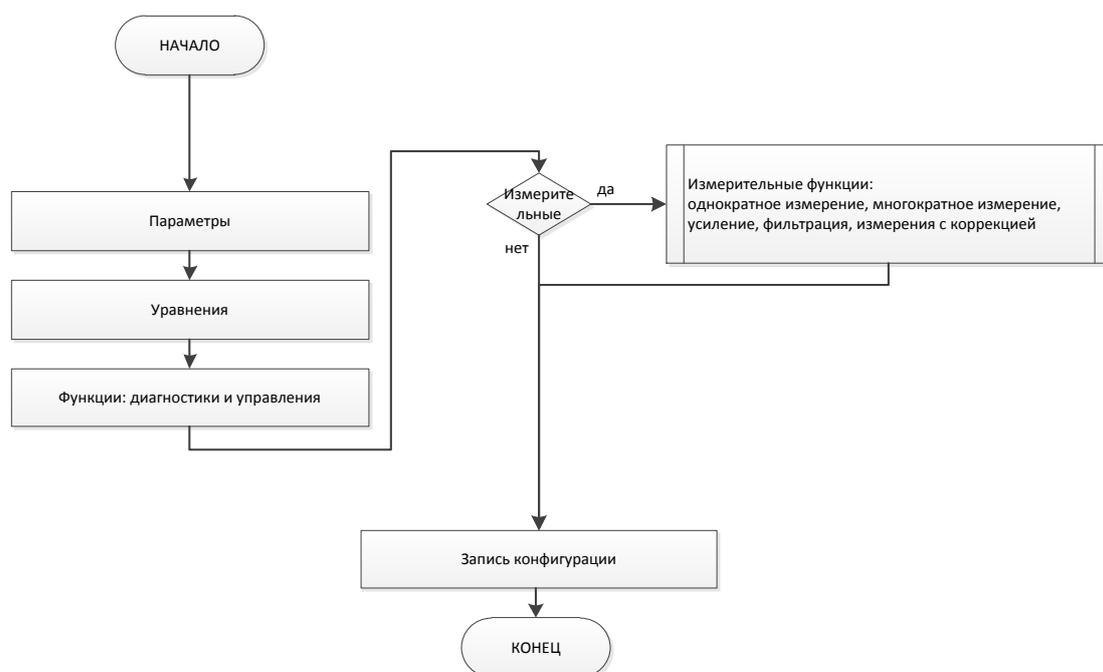


Рисунок 7 – Упрощённая блок-схема алгоритма программы конфигурирования

В пятой главе проведён анализ результатов применения системы проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков, приведены результаты предварительной оценки эффективности использования МРИД.

В рамках работы была проведена предварительная оценка эффективности использования МРИД. Основная задача данной оценки заключалась в выяснении количественных показателей при коррекции различных составляющих обобщённого уравнения интеллектуального датчика, в первую очередь – коррекции влияющего фактора.

Оценка коррекции влияющего фактора направлена на выяснение качества коррекции показаний МРИД с первичными преобразователями при воздействии влияющего фактора.

Испытания проводились в два этапа. В первом эксперименте к МРИД подключались два первичных преобразователя, для одного из них конфигурировалось использование коррекции влияющего фактора, для другого – отключение коррекции. На втором этапе коррекция отключалась для первого преобразователя, и включалась для второго. Измерения проводились для каждого преобразователя независимо по собственному каналу.

Для эксперимента использовался фоторезистор VT20N фирмы PerkinElmer Optoelectronics. Температура менялась в диапазоне от +10 до +40 градусов Цельсия, освещение было постоянным на уровне 100 люкс.

Проводилось N измерений по K значениям влияющего фактора.

Результаты испытаний усреднялись с предварительным исключением минимального и максимального значения.

В этом испытании анализировалась разница показаний. Разность абсолютная определялась по следующей формуле:

$$\Delta_{K1} = \langle V_1 \rangle_{K1} - \langle V_2 \rangle_{K1}, \quad (17)$$

где $K1$ означает значение для влияющего фактора в точке $K1$, $\langle V_1 \rangle_{K1}$ - усреднённые значения по N отсчётов в точке $K1$.

Максимальная разница показаний по экспериментам для нескорректированного датчика показана на рисунке 8. На рисунке 9 показана разница показаний по тем же экспериментам для датчика со включённой коррекцией.

В численном виде, разница показаний для датчика без коррекции составляет от 3% до 6% в ту или иную сторону, для датчика с коррекцией 1%.

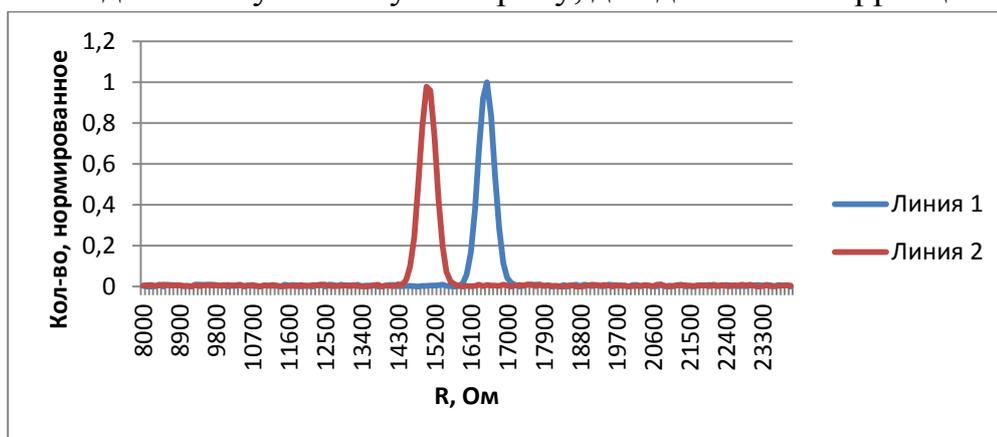


Рисунок 8 – Разность показаний для датчика без коррекции влияющего фактора

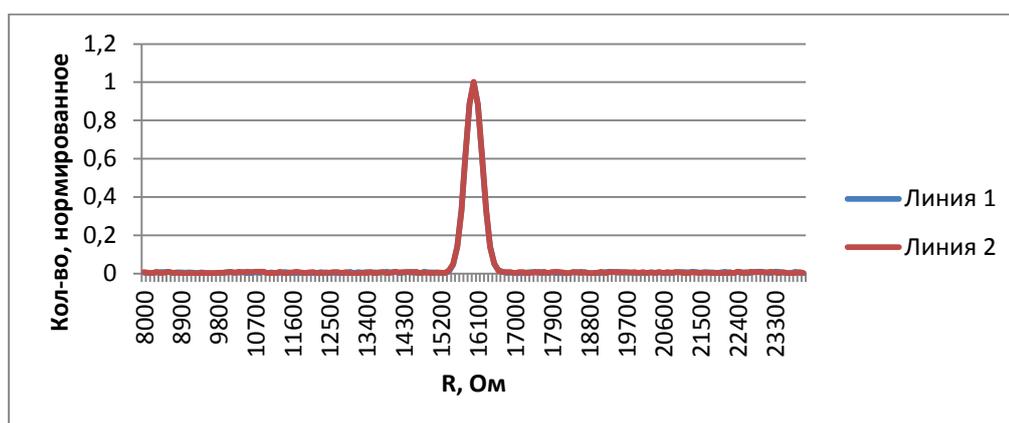


Рисунок 9 – Разница показаний для датчика со включённой коррекцией влияющего фактора

Также был проведён анализ средств проектирования интеллектуальных датчиков и систем на их основе, по результатам которого было решено спроектировать многофункциональный программно-аппаратный комплекс "Интеллектуальные датчики с электронными таблицами". Данный комплекс, структура которого показана на рисунке 10, предназначен для проектирования

интеллектуальных датчиков TEDS, выполненных в соответствии со стандартом IEEE 1451.4, изучения программных средств проектирования – библиотеки функций TEDS LabVIEW и специальных утилит, обучения принципам проектирования каналов измерения в системах автоматизации экспериментальных исследований, испытаний и управления с использованием интеллектуальных датчиков.

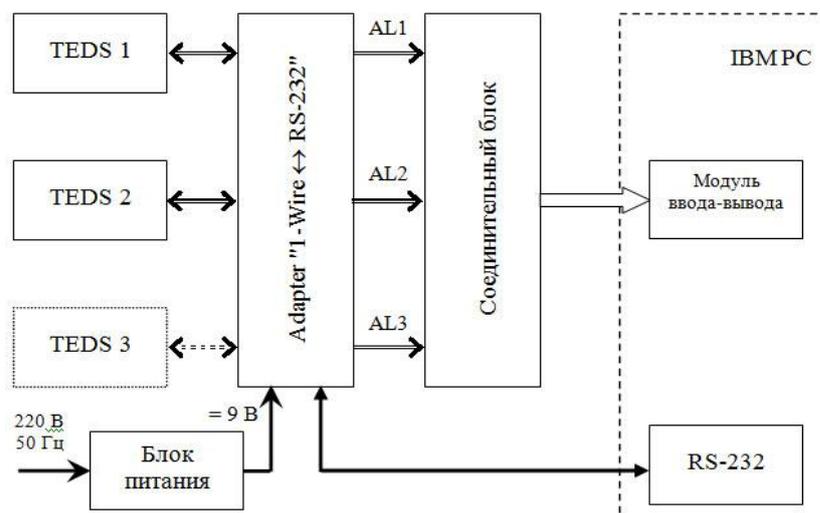


Рисунок 10 – Структурная схема стенда

Разработка представляет собой систему проектирования, как интеллектуальных датчиков TEDS, так и измерительных систем, реализованную с использованием оборудования и программного обеспечения корпорации National Instruments, дополненную набором интеллектуальных датчиков и адаптером интерфейсов "1-Wire – RS-232"

Разработанный программно-аппаратный комплекс используется для обучения студентов старших курсов технических специальностей проектированию интеллектуальных датчиков с электронными таблицами и измерительных систем на основе них.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате проведенной работы были получены следующие основные результаты.

1. Показано, что семейство стандартов IEEE 1451 затрагивает вопросы хранения в основном паспортных характеристик датчиков как первичных преобразователей и организации канала связи с памятью в датчике, в то время как вопросам описания более сложных датчиков уделяется мало внимания. Даны определения многофункционального интеллектуального датчика и

многофункционального реконфигурируемого интеллектуального датчика. Предложена классификация функций интеллектуальных датчиков.

2. Показано, что предложенное обобщённое уравнение многофункционального реконфигурируемого интеллектуального датчика позволяет учитывать влияющие зависимости от различных факторов, а также описывать данные зависимости в цифровом виде, благодаря чему возможно формирование датчиков с требуемыми параметрами, с использованием большого количества типов первичных преобразователей. Также показано, что разработанный на основе обобщённого уравнения алгоритм работы МРИД существенно упрощает проектирование многофункциональных реконфигурируемых датчиков. На основе обобщённого уравнения и обобщённого алгоритма разработана система проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков.

3. Выполнено исследование тестовых образцов МРИД для проверки эффективности коррекции влияющих факторов и общего тестирования функционирования образцов, показавшее успешность принятого подхода.

4. Разработаны, апробированы и внедрены в учебный процесс нескольких университетов программно-аппаратные комплексы по обучению проектированию интеллектуальных датчиков с TEDS и мониторингу параметров окружающей среды.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из Перечня ВАК ведущих рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1. Баран, Е. Д. Исследование и построение интеллектуальных датчиков с электронными таблицами / Е. Д. Баран, И. О. Марченко, В. Л. Полубинский // Научный вестник НГТУ. – 2010. – Т. 1. – с. 23–34.

2. Марченко И.О. Система проектирования реконфигурируемых интеллектуальных датчиков [Текст] / И.О. Марченко // Датчики и системы. – 2012. – № 2. – С. 2–5.

3. Марченко, И. О. Система проектирования многофункциональных реконфигурируемых датчиков в учебном процессе [Электронный ресурс] / "Инженерный вестник Дона" – 2013 – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1916> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус. (Дата обращения 15.12.2014).

В прочих изданиях

4. Баран Е.Д. Автоматизированные учебные практикумы и лаборатории. Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments [Текст] / Е. Д. Баран, А. В. Кухто, А. Ю. Любенко, И. О. Марченко, С. В. Черкашин // Сборник трудов международной

научно-практической конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments», Москва, Россия, 17 - 18 ноября 2006. – М.: РУДН, 2006. – С.18-24.

5. Баран Е.Д. Автоматизированная учебная лаборатория «Электроника и схемотехника» [Текст] / Е.Д. Баран, А.В. Кухто, И.О. Марченко, С.В. Черкашин // Виртуальные и интеллектуальные системы-2007. Ползуновский альманах. – Барнаул: Издательство АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2007. – С. 122-124.

6. Баран Е.Д. Оборудование и программное обеспечение учебных лабораторных стендов [Текст] / Е.Д. Баран, А.В. Кухто, И.О. Марченко, В.Б. Хархота, С.В. Черкашин // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments. Сборник трудов конференции. – М.: Издательство РУДН, 2007. – С. 501-508.

7. Baran, Efim. Laboratory Test Benches Development for Engineer's / Efim Baran, Andrew Kukhto, Ilya Marchenko, Sergey Cherkashin // Education International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering "SIBIRCON 2008". Proceedings Novosibirsk: Publishing house of NSTU, – 2008. – p. 68–72.

8. Баран Е.Д., Лабораторные стенды "Мониторинг параметров окружающей среды" и "Система автоматического регулирования" / Е.Д.Баран, А.В.Кухто, И.О.Марченко, В.Б.Хархота, С.В.Черкашин // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments. Сборник трудов VII научно-практической конференции. М : РУДН, – 2008. – стр. 7–10.

9. Марченко, И. О. Система проектирования интеллектуальных датчиков с электронными таблицами / И. О. Марченко, В. Л. Полубинский, Е. Д. Баран // Материалы X международной конференции "Актуальные проблемы электронного приборостроения" АПЭП-2010 в 7 томах. Новосибирск: НГТУ, – 2010. – Т. 3. – с. 143–148.

10. Марченко, И.О. Обобщённое уравнение многофункционального интеллектуального датчика [Текст] / И.О. Марченко.// Сборник научных трудов НГТУ №3 (65), – Новосибирск: НГТУ, 2011.– С. 14-21.

11. Марченко, И. О. Применение системы проектирования многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков в учебном процессе / И. О. Марченко // Виртуальные и интеллектуальные системы-2013. Ползуновский альманах. Барнаул: Издательство АлтГТУ им. И. И. Ползунова, – 2013. – с. 127–130.

12. Марченко, И. О. Преимущества многофункциональных реконфигурируемых интеллектуальных датчиков / И. О. Марченко // Материалы XII международной конференции "Актуальные проблемы электронного приборостроения" АПЭП-2014 в 7 томах. Новосибирск, 22–24 сентября : б.н., 2014. – Т. 3. – с. 198–200.

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
тел./факс (383) 3460857
Формат 60 X 84 1/16, объём 1.5 п.л., тираж 100 экз.
Заказ № 230. Подписано в печать 28.01.2015 г.