

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

З.М. Селиванова, А.А. Самохвалов

Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ГОУ ВПО «ТГТУ»; Selivanova@mail.jesby.tstu.ru

Представлена членом редколлегии профессором С.В. Пономаревым

Ключевые слова и фразы: измерительная ситуация; интеллектуальная система контроля; концептуальная модель; модель процесса измерения; теплофизические свойства материалов.

Аннотация: Предложены концептуальная модель и модель процесса проектирования интеллектуальных систем контроля, позволяющие разработать алгоритм проектирования систем на основе изменения конфигурации архитектуры интеллектуальных информационно-измерительных систем контроля в зависимости от измерительной ситуации.

Необходимость проектирования интеллектуальных информационно-измерительных систем контроля (**ИИИСК**) обусловлена усложнением технологических процессов на производстве, проведением неразрушающего контроля (**НК**) параметров теплофизических свойств материалов (**ТФСМ**) в условиях неопределенности, при воздействии дестабилизирующих факторов (**ДФ**), развитием научных исследований по созданию новых материалов с заданными свойствами, требованиями к высокому метрологическому уровню контроля.

В настоящее время для НК на производстве и в научных исследованиях применяются информационно-измерительные системы (**ИИС**), которые не в полной мере отвечают всем необходимым техническим характеристикам ИИС: оперативности, широкому диапазону исследуемых материалов (**ИМ**), возможности контролировать комплекс определяемых параметров, требуемому метрологическому уровню результатов измерений. Кроме того, в ИИС не решены задачи повышения устойчивости к воздействию ДФ, функционированию в условиях неопределенности, возможности выбора метода контроля и изменения структуры ИИИСК в процессе контроля свойств материалов и технологического процесса изготовления материалов. Анализ известных ИИС показывает, что существующие системы не обеспечивают оперативный и точный контроль свойств материалов, возможность контроля параметров теплофизических свойств при воздействии ДФ.

Проектирование интеллектуальных ИИС выдвигает также целый ряд научно-технических задач, решение которых необходимо для создания эффективных систем контроля свойств материалов. При определении свойств ИМ существует проблема описания математическими моделями объектов исследования, измерительных ситуаций из-за нечеткости информации, появляющейся в условиях неопреде-

ленности, при воздействии ДФ. Проблему, связанную с дефицитом информации при контроле свойств материалов в условиях неопределенности, предлагается решать на основе интеллектуализации ИИС, позволяющих осуществлять интеллектуальные процедуры принятия решений по выбору оптимальных режимных параметров измерений в зависимости от измерительной ситуации, оптимизацию процедур в соответствии с выбранными критериями – оперативностью и точностью измерений [1].

Одним из путей повышения технической эффективности ИИС при решении поставленных задач, возникающих при контроле свойств материалов, является применение методов искусственного интеллекта при проектировании ИИИСК.

Поэтому проектирование ИИИСК, позволяющих решать указанные проблемы повышения оперативного и точного НК свойств материалов в условиях неопределенности при воздействии ДФ, экспресс-диагностики, разработки технологии производства материалов важно и актуально.

Методологическую основу решения поставленных задач проектирования ИИИСК составляют методы общей теории систем, искусственного интеллекта, нечетких множеств.

Основная цель при решении задачи проектирования ИИИСК – это разработка этапов проектирования интеллектуальных систем и декомпозиции их на подэтапы в соответствии с предметной областью исследования, что позволит обеспечить полноту выполняемых функций ИИИСК, быстродействие, достоверность получаемых результатов, надежность, заданный метрологический уровень и повышение технической эффективности функционирования систем.

Новым в решении задачи проектирования ИИИСК полагается следующее:

- применение интеллектуализации при проектировании ИИИСК, которая предполагает применение методов искусственного интеллекта на всех этапах проектирования интеллектуальных систем;
- разработка алгоритма проектирования ИИИСК с применением методов искусственного интеллекта;
- разработка моделей и алгоритмов в процессе проектирования ИИИСК в зависимости от измерительной и информационной ситуаций.

Проектирование ИИИСК регламентируется Государственными стандартами Российской Федерации: ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288–2005 «Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем»; ГОСТ Р 8.563–96 «Методики выполнения измерений»; ГОСТ 15.309–98 «Система разработки и постановки продукции на производство»; ГОСТ Р 8.596–2002 «Метрологическое обеспечение измерительных систем» [6–9].

Постановка задач проектирования.

Основные задачи при проектировании ИИИСК следующие:

- разработка концептуальной модели;
- создание модели процесса;
- разработка структурной схемы алгоритма, учитывающей особенности объектов контроля, в которой использование базы знаний, интеллектуального интерфейса и методов искусственного интеллекта позволяет выбрать оптимальный алгоритм функционирования системы, трансформируемый в процессе контроля параметров ИМ в зависимости от измерительной и информационной ситуаций, что, в результате, повышает оперативность, точность и эффективность ИИИСК;
- разработка математического обеспечения, которое включает математические модели предметной области, исследуемых материалов, ИИИСК, принятия решений в ИИИСК, измерительных ситуаций;
- разработка с элементами интеллектуализации метода контроля, повышающего оперативность и точность контроля, в котором в результате применения

процедуры искусственного интеллекта для выбора метода контроля в зависимости от измерительной ситуации выбираются оптимальные режимные параметры измерений на основе расчетно-экспериментальных зависимостей;

– создание интеллектуального измерительного зонда, реализующего методы контроля и отвечающего конструкторско-технологическим и метрологическим требованиям;

– разработка программного обеспечения, позволяющего осуществлять математическую обработку информации, полученную в процессе контроля, реализацию интеллектуального интерфейса, представление знаний в базах данных и знаний, алгоритм функционирования ИИИСК;

– разработка метрологического обеспечения ИИИСК для оценки результатов измерений, что позволит целенаправленно воздействовать на источники погрешности, автоматически корректировать результаты измерения и, в результате, повысить метрологический уровень ИИИСК.

Концептуальная модель проектирования. Для успешного решения поставленных задач проектирования ИИИСК необходимо обобщенное описание проблемной области, возможных измерительных и информационных ситуаций, рисков и других аспектов на концептуальном уровне. Укрупненное представление всех этих компонентов в компактной описательно-графической форме будем называть концептуальной моделью. Концептуальная модель создается на основе объединения разнородных по своей природе категорий: задач, моделей, ограничений и др.

Концептуальная модель содержит информацию о задачах и стратегиях проектирования, рисках, видах обеспечения ИИИСК в зависимости от предметной области, измерительной и информационной ситуаций. Предлагаемая концептуальная модель отражает системные свойства [2]: способность к совершенствованию, однотипность структуры технических свойств, универсальность проектирования – возможность применения систем автоматизированного проектирования, изменение конфигурации структуры системы в процессе проектирования.

В концептуальной модели предусмотрены следующие проблемы, которые обуславливают риски при проектировании [3].

1. Сложность ИИИСК, результаты проектирования которой можно оценить на этапе получения определяемых параметров на основе анализа их точности.

2. Дополнительные затраты на коррекцию проекта – проектирования ИИИСК в случае неудовлетворительных результатов.

3. Конфликтная ситуация: творчество и дисциплина в коллективе, реализующем проектирование ИИИСК.

Разработанная концептуальная модель проектирования ИИИСК приведена на рис. 1.

Ниже приведены следующие особенности концептуальной модели при проектировании ИИИСК:

– модель представляет собой развивающуюся структуру в соответствии с этапами проектирования ИИИСК;

– модель используется при разработке баз данных и знаний при создании ИИИСК;

– на основе концептуальной модели строятся функциональная и информационная модели ИИИСК.

Модель процесса проектирования.

Используя теорию моделирования систем и системного подхода [2], модель процесса проектирования ИИИСК можно представить в виде графа, показанного на рис. 2 [4].

Модель процесса проектирования позволяет отразить преобразование архитектуры ИИИСК и формирование новой структуры системы на основе типовой структуры по заданному алгоритму изменения конфигурации структур по разработанным производственным правилам.

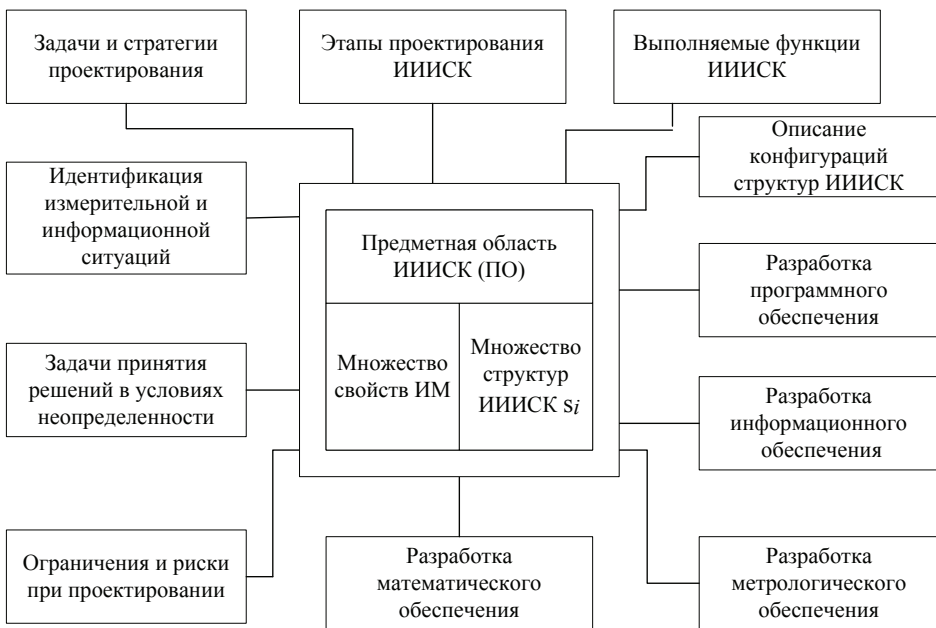


Рис. 1. Концептуальная модель проектирования ИИИСК

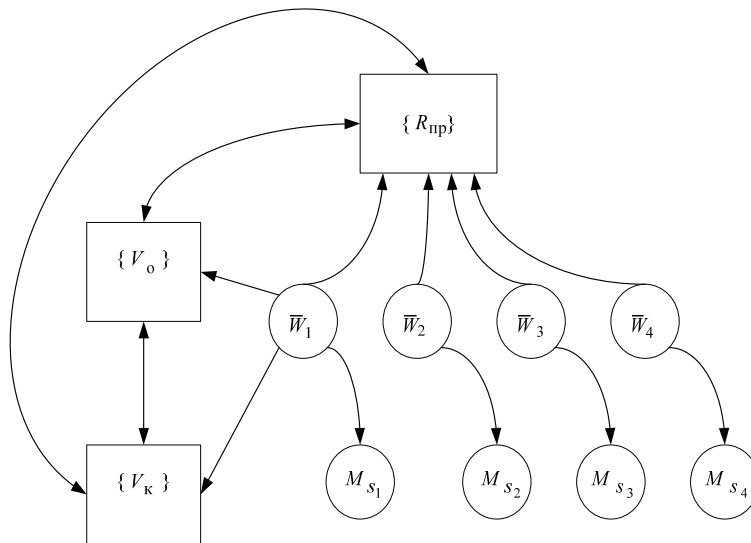


Рис. 2. Модель процесса проектирования ИИИСК

Вершины графа M_{s_i} , $i = 1, \dots, 3$ отражают модели структур ИИИСК: M_{s_1} – модель типовой структуры ИИИСК; M_{s_2} – модель структуры ИИИСК ИМ низкой теплопроводности, $\lambda = 0,02 \dots 0,2$ Вт/(м·К); M_{s_3} – модель структуры ИИИСК ИМ средней теплопроводности, $\lambda = 0,21 \dots 1,0$ Вт/(м·К); M_{s_4} – модель структуры ИИИСК ИМ высокой теплопроводности, $\lambda = 1,1 \dots 10$ Вт/(м·К).

Преобразуется структура ИИИСК в соответствии с изменением составляющих компонентов используемых модулей обеспечения: математического, программного, структурного и метрологического.

В модели процесса проектирования $\overline{W}_i, i = 1, \dots, 4$ – операторы преобразования моделей структуры ИИИСК при изменении конфигурации структуры в зависимости от измерительной ситуации. Измерительная ситуация определяется на основе идентификации свойств ИМ и формируется на основе модели ИМ, метода контроля ТФСМ, режимных параметров измерений.

Оператор \overline{W} можно представить в виде кортежа

$$\overline{W} = \langle V_0, V_k, A_{\text{кон}} \rangle,$$

где $V_0 = \{V_s^0, s = 1, \dots, k_0\}$ – множество модулей математического обеспечения $V_{\text{мат.о.}s_i}$, программного обеспечения $V_{\text{пр.о.}s_i}$, метрологического обеспечения $V_{\text{м.о.}s_i}$, проектируемой структуры ИИИСК; $V_k = \{V_s^k, s = 1, \dots, k_k\}$ – множество модулей структур ИИИСК, отличающихся структурными компонентами: интеллектуальными датчиками, базами данных и знаний, микроконтроллерами и др.; $A_{\text{кон}}$ – алгоритм изменения конфигурации структуры системы на основе разработанного множества продукционных правил (ПП)

$$R_{\text{пр1}} = \{R_{\text{пр1}}, \dots, R_{\text{пр4}}\}.$$

Операторы \overline{W} реализуют функции преобразования на основе разработанных ПП: $R_{\text{пр1}}$ – ПП, реализующее создание типовой структуры ИИИСК согласно модели M_{s_1} ; $R_{\text{пр2}}$ – ПП, определяющее структуру системы в соответствии с моделью M_{s_2} ; $R_{\text{пр3}}$ – ПП, позволяющее формировать структуру системы в соответствии с моделью M_{s_3} ; $R_{\text{пр4}}$ – ПП, на основе которого создается структура ИИИСК согласно модели M_{s_4} .

Преобразование моделей структуры $M_{s_i}, i = 1, \dots, 4$ операторами в соответствии с алгоритмом преобразования и продукционными правилами осуществляется в следующем порядке:

$$\overline{W}_1 \rightarrow A_{\text{кон1}} \rightarrow \{R_{\text{пр1}}\};$$

$$\overline{W}_2 \rightarrow A_{\text{кон2}} \rightarrow \{R_{\text{пр2}}\}$$

$$\overline{W}_3 \rightarrow A_{\text{кон3}} \rightarrow \{R_{\text{пр3}}\}$$

$$\overline{W}_4 \rightarrow A_{\text{кон4}} \rightarrow \{R_{\text{пр4}}\}$$

Структурная схема проектируемой ИИИСК строится на основе разработанных концептуальной модели, модели процесса проектирования (см. рис. 1, 2). На структурной схеме представляются модули математического, программного, метрологического обеспечений ИИИСК, модули структур, информационных связей, технических связей и подсистема изменения конфигурации составляющих структуру системы модулей в соответствии с алгоритмом функционирования ИИИСК.

Применительно к проектированию ИИИСК теплофизических свойств материалов структурная схема алгоритма проектирования содержит дополнительные структурные компоненты (рис. 3).

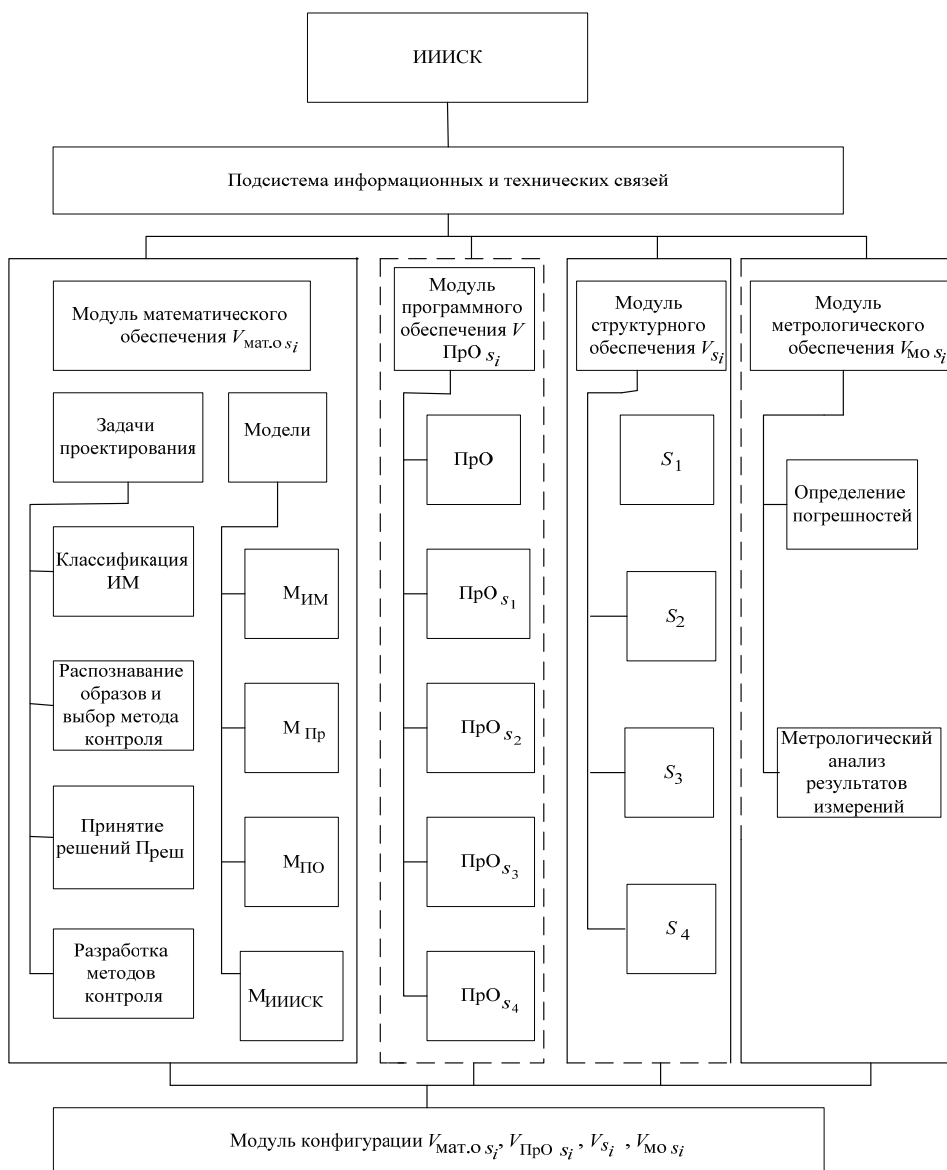


Рис. 3. Структурная схема алгоритма проектирования ИИИСК

Модуль структурного обеспечения содержит: систему измерительных датчиков; интеллектуальные измерительные зонды, отличающиеся нагревательным элементом (линейным или плоским разной конфигурации в зависимости от класса теплопроводности ИМ); блок питания с выходными напряжениями U_1, U_2, U_3 в соответствии с формируемой структурой S_2, \dots, S_4 ; устройство формирования импульсов нагрева для структур S_2, \dots, S_4 ; базы данных и базы знаний соответственно для структур S_1, \dots, S_4 .

В соответствии с концептуальной моделью и со структурной схемой алгоритма проектирования предлагаются *основные этапы проектирования ИИИСК*.

1. *Разработка технического задания на проектирование ИИИСК и идентификация информационной ситуации для рассматриваемой предметной области.*

2. *Разработка математического обеспечения ИИИСК.*

На этом этапе для рассматриваемой предметной области (контроль теплофизических свойств материалов) разрабатываются задачи проектирования и математические модели (см. рис. 3). Методы искусственного интеллекта на этом этапе применяются при представлении знаний (фреймы, нечеткие множества), самообучении системы, использовании знаний для решения задачи распознавания образов, выбора метода контроля в зависимости от измерительной ситуации, оптимизации режимных параметров измерений, принятия решений в условиях неопределенности при функционировании ИИИСК.

Разработан интеллектуальный метод неразрушающего контроля ТФСМ [5], заключающийся в тепловом воздействии линейным нагревателем термозонда на поверхность исследуемого материала и регистрации температурно-временных характеристик поверхности, отличающий тем, что регистрируют предварительную тестовую термограмму, по которой оценивают теплопроводность ИМ. При этом фиксируют время достижения установившегося теплового режима в области контакта термозонда и ИМ $\tau_{уст}$, определяют оптимальное количество тепловых импульсов n , подаваемых на ИМ до наступления установившегося теплового режима, выбирают оптимальный промежуток времени усреднения температуры по объему подложки термозонда $\tau_{уср}$, и с помощью полученных оптимальных параметров проводят измерения по определению ТФСМ. Применение разработанного способа контроля ТФСМ позволяет в 1–2 раза повысить оперативность определения ТФСМ с прогнозируемой погрешностью измерений до 5 %. Этот результат достигнут использованием процедуры искусственного интеллекта для выбора способа контроля ТФСМ в зависимости от измерительной ситуации [5], решения задачи минимизации функционала, комплексно учитывающего потери оперативности и точности, выбора оптимальных параметров теплофизических измерений $\tau_{уст}$, n , $\tau_{уср}$ по тестовой термограмме с использованием расчетно-экспериментальных зависимостей

$$\tau_{уст} = f(\lambda), \quad \tau_{уср} = f(\lambda).$$

3. Разработка программного обеспечения ИИИСК.

Программное обеспечение позволяет реализовать алгоритм функционирования ИИИСК ТФСМ, интеллектуальные процедуры по выбору оптимальных параметров теплофизических измерений в зависимости от измерительной ситуации, принятию решений блоком принятия решений (**БПР**) в условиях неопределенности, по выбору метода контроля в соответствии с классом исследуемых материалов, определению адаптивных стратегий контроля ТФСМ для повышения метрологического уровня и прогнозирования результатов измерений. Рекомендуется проектирование ИИИСК на базе PIC микроконтроллеров фирмы Microchip и при программировании использовать язык программирования C.

4. Разработка архитектуры ИИИСК.

Созданные модели и решаемые задачи при математическом обеспечении ИИИСК во многом определяют архитектуру ИИИСК. Архитектура ИИИСК должна обеспечивать применение методов искусственного интеллекта, в частности, для приобретения знаний, которые формируются в базе знаний системы, принятия решений в автоматизированном режиме при реализации алгоритма функционирования системы.

Архитектура ИИИСК ТФСМ должна отличаться от существующих своей универсальностью и многофункциональностью. Эти свойства реализуются в результате применения модульной структуры ИИИСК, где каждый модуль структуры S_2 , S_3 , S_4 формируется в результате интеллектуальной процедуры изменения

конфигурации основной типовой структуры S_1 ИИИСК в соответствии с правилами $R_{пр}$. Типовая структура S_1 включает следующие основные компоненты: базу знаний на основе микроконтроллеров, содержащую информацию по ряду предметных областей: о методах измерения ТФСМ, моделях ИМ, измерительных процедурах, аппроксимирующих зависимости для коррекции результатов измерения при воздействии дестабилизирующих факторов и др.; измерительно-вычислительное устройство на базе микроконтроллера; интеллектуальный измерительный зонд, содержащий три усилителя с различными диапазонами усиления, измерительные ячейки ИЯ₁, ИЯ₂, ИЯ₃ соответственно для формирования каждой структуры S_2 , S_3 , S_4 .

Синтез структуры ИИИСК осуществляется в соответствии с моделью процесса проектирования (см. рис. 2).

5. Метрологическое обеспечение ИИИСК.

Согласно разработанной структурной схеме алгоритма проектирования ИИИСК метрологическое обеспечение включает: определение погрешностей измерений и метрологический анализ результатов измерений. В базе знаний ИИИСК создан фрейм «Метрологическое обеспечение», который содержит следующую информацию: способы метрологического обеспечения – испытание, поверка, аттестация, калибровка; способы обработки измерительной информации – аналитический, метрологического эксперимента, эмитационное моделирование, математические зависимости для расчета погрешностей и их характеристик; методы оценки результатов функционирования ИИИСК, например на основе теории Демпстера–Шафера.

Разработка метрологического обеспечения позволяет осуществить измерение параметров ТФСМ с прогнозируемой допустимой погрешностью.

Алгоритм проектирования ИИИСК.

1. Проводится анализ технического задания на проектирование.
2. Формируются основные компоненты и создаются базы данных и знаний для ряда предметных областей.

3. Разрабатывается типовая структура для рассматриваемой предметной области.

4. На основе модели процесса проектирования (см. рис. 2) блок принятия решения осуществляет интеллектуальные процедуры принятия решений с использованием процедурных правил $R_{пр}$ о выборе структуры S_2 , S_3 , S_4 в соответствии с техническим заданием на проектирование и измерительной ситуацией.

5. Для выбранной структуры S_2 , S_3 , или S_4 формируются необходимые структурные компоненты: соответствующая измерительная ячейка интеллектуального измерительного зонда, микроконтроллер, усилитель требуемого диапазона усиления измерительных сигналов. Принимаются решения в БПР с использованием информации из базы знаний о математическом, алгоритмическом, программном и метрологическом обеспечениях для каждой из структур S_2 , S_3 , S_4 .

Результаты работы. Разработаны концептуальная модель проектирования ИИИСК, модель процесса проектирования и структурная схема алгоритма проектирования, которые положены в основу создания этапов проектирования ИИИСК и алгоритма проектирования с применением методов искусственного интеллекта. Алгоритм проектирования основан на применении интеллектуальных процедур при изменении конфигурации архитектуры системы: математического, программного, структурного и метрологического обеспечений, по разработанным процедурным правилам в зависимости от измерительной и информационной ситуаций.

Разработанный алгоритм проектирования позволяет обеспечить надежность и оперативность функционирования системы, заданный метрологический уровень измерений, сократить материальные затраты и время проектирования ИИИСК.

Список литературы

1. Селиванова, З.М. Интеллектуальная информационно-измерительная система для определения теплофизических свойств твердых материалов / З.М. Селиванова // Проектирование и технология электрон. средств. – 2005. – № 2. – С. 35–37.
2. Советов, Б.Я. Моделирование систем : учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 4-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2005. – 343 с.
3. Гагарина, Л.Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем : учеб. пособие / Л.Г. Гагарина, Д.В. Киселев, Е.Л. Федотова. – М. : Форум ; ИНФРА-М, 2007. – 384 с.
4. Ахремчик, О.Л. Информационная база для автоматизированного проектирования схем систем управления технологическими объектами / О.Л. Ахремчик // Информац. технологии. – 2009. – № 8. – С. 17–21.
5. Пат. 2301996 Российская Федерация, МПК G01N 25/00. Способ неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий / Селиванова З.М., Муромцев Ю.Л. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2005130834/28 ; заявл. 04.10.2005 ; опубл. 27.06.2007, Бюл. № 18. – 14 с.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288–2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – Введ. 2007–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2006. – 54 с.
7. ГОСТ Р 8.563–96. Методики выполнения измерений. – Введ. 1996–23–05. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 18 с.
8. ГОСТ 15.309–98. Система разработки и постановки продукции на производство. – Введ. 2000–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2008. – 13 с.
9. ГОСТ Р 8.596–2002. Метрологическое обеспечение измерительных систем. – Введ. 2003–03–01. – М. : Изд-во стандартов, 2008. – 10 с.

Designing of Intelligent Data-Measuring Control Systems for Thermo-Physical Properties of Materials

Z.M. Selivanova, A.A. Samokhvalov

*Department “Designing of Radio-Electronic and Microprocessor Systems”,
TSTU; Selivanova@mail.jesby.tstu.ru*

Key words and phrases: conceptual model; intellectual control system; measuring situation; model of measurement process; thermo-physical properties of materials.

Abstract: The paper presents the conceptual model and the process model for designing of intellectual control systems, which enable to develop the algorithm to design the systems based on the alteration of architecture configuration of intellectual data-measuring control systems depending on the measuring situation.

Projektierung der intellektuellen Informationsmeßsysteme der Kontrolle der wärme-physikalischen Eigenschaften der Stoffe

Zusammenfassung: Es sind das Konzeptualmodell und das Modell des Prozesses der Projektierung der Kontrollsysteme vorgeschlagen. Sie erlauben, den Algorithmus der Projektierung der Systeme auf Grund der Veränderung der Konfiguration der Architektur der intellektuellen Informationsmeßsysteme der Kontrolle je nach der Meßsituation zu erarbeiten.

Conception des systèmes intellectuels informatiques de mesure pour le contrôle des propriétés thermophysiques des matériaux

Résumé: Est proposé le modèle conceptuel et le modèle du processus de la conception des systèmes intellectuels informatiques du contrôle permettant d'élaborer l'algorithme de la conception des systèmes à la base du changement de la configuration de l'architecture des systèmes intellectuels informatiques de mesure du contrôle en fonction de la situation de mesure.

Авторы: *Селиванова Зоя Михайловна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Самохвалов Алексей Алексеевич* – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ГОУ ВПО «ТГТУ».
