

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ\*

С. В. Артемова<sup>1</sup>, А. А. Артемов<sup>2</sup>, П. А. Подхватилин<sup>1</sup>, А. А. Чуриков<sup>3</sup>

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;* sartemova@ya.ru (1);  
*кафедра функционального анализа, ФГБОУ ВПО «ТГУ им. Г. Р. Державина» (2);*  
*кафедра «Мехатроника и технологические измерения», ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (3)*

**Ключевые слова:** интеллектуальная информационно-управляющая система; критерии и ограничения поставленной задачи; технология структурного построения.

**Аннотация:** Рассмотрена технология построения интеллектуальных информационно-управляющих систем тепло-технологическими аппаратами, связанная с различными этапами процесса их проектирования. Выделены основные этапы: предварительный, технического и рабочего проектирования. Приведена задача структурного построения проектных решений. Для формализации задачи структурного построения введены переменные массивы: принадлежности алгоритма модулю; принадлежности информационного элемента алгоритму соответствующих подсистем; взаимодействия модулей с информационными элементами. На этапе проектирования минимизированы основные критерии: сложность системы; подбор и число технических средств; объем занимаемой памяти с различными ограничениями. Поставленная задача решена с использованием генетических алгоритмов.

---

### Введение

К наиболее востребованным в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства можно отнести интеллектуальные системы, в частности интеллектуальные информационно-управляющие системы (ИИУС), позволяющие в реальном режиме времени синтезировать управляющие воздействия, минимизирующие затраты энергии и потери качества производимой продукции в процессах, протекающих в тепло-технологических аппаратах (ТТА). Технология построения ИИУС ТТА связана с различными этапами процесса их проектирования.

### Этапы построения ИИУС

В процессе проектирования систем выделены следующие основные этапы: предварительный, технического и рабочего проектирования. В ходе предварительного этапа синтезируются основные, принципиальные решения, задающие информационную концепцию ИИУС ТТА. При этом выполняется анализ предметной области, в результате которого определяется: состав ТТА, задачи управления и измерения, технологии их решения, требуемая информация для решения, а также формулируются требования пользователей ИИУС ТТА к ее эффективности и качеству.

---

\* По материалам доклада на конференции «Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах» (см. 2015. Т. 21, № 3).

В ходе этапа технического проектирования синтезируются уточняющие решения, реализующие техническую концепцию ИИУС ТГА. При этом выполняется следующий комплекс работ по структурному построению ИИУС ТГА: выбор оптимального комплекса технических и программно-аппаратных средств, на базе которого реализуется ИИУС ТГА; определение множества выполняемых функций; построение оптимальной структуры программного обеспечения и разработка его спецификаций; выбор типа используемого автоматизированного банка данных; определение логической и физической структуры базы данных; определение используемых моделей представления знаний и структуры базы знаний [1].

В ходе этапа рабочего проектирования синтезируются параметры системы и создается документация на ИИУС ТГА.

### Декомпозиция ИИУС

Под структурой ИИУС понимается совокупность составляющих систему элементов и организация связей между ними. Основной работой, проводимой на стадии технического проектирования, является декомпозиция системы по функциональному назначению на подсистемы и составляющие их функциональные модули, реализующие решения задач ИИУС ТГА. Как правило, различают интеллектуальную информационно-управляющую и интеллектуальную информационно-измерительную составляющие системы. При этом на основании анализа предметной области определяются информационные особенности системы, потоки и связи информации для подсистем, при этом обеспечивается экстремум заданного критерия разбиения, учитывающего удобство последующего детального анализа, разработки и внедрения ИИУС.

На основе результатов, полученных на этапе анализа предметной области, происходит построение перспективной структуры ИИУС ТГА. При этом одним из наиболее важных критериев выделения подсистем и функциональных модулей является минимизация числа информационных связей системы, которая должна быть представлена в виде набора слабо связанных частей, что обозначает отсутствие обратных связей, а также интенсивного обмена информацией [2].

Для минимизации числа информационных связей системы большое значение при проектировании ИИУС имеют задачи типизации [3] проектных решений при разработке алгоритмического, программного и информационного обеспечения создаваемых ИИУС различными ТГА.

Результатом типизации является синтез проектных решений, приводящий к заданному множеству типовых подсистем и функциональных модулей ИИУС ТГА, совместно выполняющих множество функций на множестве выбранных объектов с требуемой эффективностью и учетом их индивидуальных особенностей.

### Задача структурного построения ИИУС

К задачам, возникающим на этапах проектирования, относится задача структурного построения ИИУС с учетом оптимальности параметров по заданным критериям и ограничениям на характеристики синтезируемой системы. Комплекс задач структурного построения ИИУС включает оптимальный выбор следующих составляющих: состава функциональных модулей программного обеспечения; содержания межмодульного интерфейса; технического обеспечения; архитектуры ИИУС ТГА в целом, формализуемой в виде функциональной блок-схемы, с учетом заданных технико-экономических характеристик функционирования разрабатываемой системы.

Задача структурного построения проектных решений формулируется следующим образом: следует найти оптимальное проектное решение архитектуры ИИУС

$$\gamma^* = \arg \min \{ S(\gamma) \mid \gamma \in \Gamma \},$$

где  $\gamma = (M_{\text{ТТА}}, M_{\text{ИУПС}}, M_{\text{ИИПС}}, M_{\text{ИИ}}, M_{\text{БД}}, M_{\text{БЗ}}, S_{\text{св}})$  – вариант архитектуры,  $M_{\text{ТТА}}, M_{\text{ИУПС}}, M_{\text{ИИПС}}, M_{\text{ИИ}}, M_{\text{БД}}, M_{\text{БЗ}}$  – модели соответственно ТТА, информационно-управляющей подсистемы (ИУПС), информационно-измерительной подсистемы (ИИПС), интеллектуального интерфейса (ИИ), базы данных (БД) и базы знаний (БЗ);  $S_{\text{св}}$  – матрица связей между моделями;  $\Gamma$  – множество вариантов архитектур ИИУС ТТА.

В качестве целевой функции предложен критерий приведенных затрат, зависящий от принимаемых проектных решений,

$$S(\gamma) = \min(S^{\text{фпм}} + S^{\text{со}} + S^{\text{БД}} + S^{\text{БЗ}} + S^{\text{сд}} + S^{\text{тс}} + S^{\text{по}} + S^{\text{э}}),$$

где  $S(\gamma)$  – общая стоимость;  $S^{\text{фпм}}$  – стоимость разработки функциональных программных модулей;  $S^{\text{со}}$  – стоимость системной отладки;  $S^{\text{БД}}$  – стоимость создания баз данных;  $S^{\text{БЗ}}$  – стоимость создания баз знаний;  $S^{\text{сд}}$  – стоимость разработки сценариев диалога;  $S^{\text{тс}}$  – стоимость технических средств системы;  $S^{\text{по}}$  – стоимость программного обеспечения;  $S^{\text{э}}$  – приведенная стоимость эксплуатации ИИУС.

Для формализации поставленной задачи вводятся переменные:

$$z_{\mu,j}^{\text{Y}} = \begin{cases} 1, \sum_i^{n_{\mu}^{\text{Y}}} x_{i,\mu}^{\text{Y}} y_{j,i}^{\text{Y}} \geq 1; \\ 0, 0 < \sum_i^{n_{\mu}^{\text{Y}}} x_{i,\mu}^{\text{Y}} y_{j,i}^{\text{Y}} < 1; \end{cases} \quad z_{\mu,j}^{\text{И}} = \begin{cases} 1, \sum_i^{n_{\mu}^{\text{И}}} x_{i,\mu}^{\text{И}} y_{j,i}^{\text{И}} \geq 1; \\ 0, 0 < \sum_i^{n_{\mu}^{\text{И}}} x_{i,\mu}^{\text{И}} y_{j,i}^{\text{И}} < 1; \end{cases}$$

$$x_{i,\mu}^{\text{Y}} = \begin{cases} 1, A_{i,\mu}^{\text{Y}} \in \text{PM}_{\mu}^{\text{Y}}; \\ 0, A_{i,\mu}^{\text{Y}} \notin \text{PM}_{\mu}^{\text{Y}}; \end{cases} \quad x_{i,\mu}^{\text{И}} = \begin{cases} 1, A_{i,\mu}^{\text{И}} \in \text{PM}_{\mu}^{\text{И}}; \\ 0, A_{i,\mu}^{\text{И}} \notin \text{PM}_{\mu}^{\text{И}}; \end{cases}$$

где  $x_{i,\mu}^{\text{Y}}, x_{i,\mu}^{\text{И}}$  – массивы принадлежности  $i$ -го алгоритма  $\mu$ -му модулю соответствующих управляющей и измерительной подсистем;  $z_{\mu,j}^{\text{Y}}, z_{\mu,j}^{\text{И}}$  – массивы взаимосвязи модулей с информационными элементами;  $y_{j,i}^{\text{Y}}, y_{j,i}^{\text{И}}$  – массивы принадлежности  $j$ -го информационного элемента  $i$ -му алгоритму соответствующих управляющей и измерительной подсистем; PM – программные модули; A – алгоритмы;

$$y_{j,i}^{\text{Y}} = \begin{cases} 1, \text{IE}_{j,i}^{\text{Y}} \in A_{i,\mu}^{\text{Y}}; \\ 0, \text{IE}_{j,i}^{\text{Y}} \notin A_{i,\mu}^{\text{Y}}; \end{cases} \quad y_{j,i}^{\text{И}} = \begin{cases} 1, \text{IE}_{j,i}^{\text{И}} \in A_{i,\mu}^{\text{И}}; \\ 0, \text{IE}_{j,i}^{\text{И}} \notin A_{i,\mu}^{\text{И}}; \end{cases}$$

где  $\text{IE}_{j,i}^{\text{Y}}, \text{IE}_{j,i}^{\text{И}}$  – информационные элементы соответствующих подсистем.

При нахождении оптимального проектного решения архитектуры ИИУС требуется минимизировать общий объем занимаемой памяти. Структуру функциональных программных модулей проектируют таким образом, чтобы объем оперативной  $V_i^{\text{оп}}$  и постоянной  $V_i^{\text{пм}}$  памяти при работе  $i$ -го алгоритма был минимальным:

$$V = \sum_i^{n_{\mu}^{\text{Y}} + n_{\mu}^{\text{И}}} V_i^{\text{п}} = \sum_i^{n_{\mu}^{\text{Y}} + n_{\mu}^{\text{И}}} (V_i^{\text{пм}} + V_i^{\text{оп}}) \rightarrow \min,$$

где  $V$  – суммарный объем памяти;

Данный критерий может достигать минимального значения в случае выполнения следующих ограничений:

– на полноту информации или общее число алгоритмов в составе синтезируемого функционального программного модуля:

$$\sum_{i=1}^{n_{\mu}^Y} x_{i,\mu}^Y \leq N_{\mu}^Y; \quad \sum_{i=1}^{n_{\mu}^I} x_{i,\mu}^I \leq N_{\mu}^I,$$

где  $N_{\mu}^Y$ ,  $N_{\mu}^I$  – максимально допустимое число алгоритмов в модулях, определяется согласно наиболее вероятным и критическим состояниям функционирования конкретного ТТА;

– однократность включения алгоритма в программные модули:

$$\sum_{\mu=1}^{n_{\mu}^Y} x_{i,\mu}^Y = 1; \quad \sum_{\mu=1}^{n_{\mu}^I} x_{i,\mu}^I = 1;$$

– дублирование занимаемой памяти информационными элементами в различных алгоритмах:

$$\sum_{i=1}^{n_{\mu}^Y} y_{j,i}^Y = 1;$$

– сложность информационного интерфейса между отдельными модулями:

$$\sum_j^{d^Y} \sum_{\mu=1}^{n_{\mu}^Y-1} \sum_{\mu'=\mu+1}^{n_{\mu}^Y} z_{\mu,j}^Y z_{\mu',j}^Y \leq D^Y; \quad \sum_j^{d^I} \sum_{\mu=1}^{n_{\mu}^I-1} \sum_{\mu'=\mu+1}^{n_{\mu}^I} z_{\mu,j}^I z_{\mu',j}^I \leq D^I,$$

где  $D^Y$ ,  $D^I$  – максимально допустимые интерфейсы между модулями подсистем (допустимое число переменных, являющихся общими для модулей).

При подборе технических средств минимизируется суммарный критерий:

$$\sum_{ts}^{n_{ts}^Y} q_{ts}^Y = \sum_{ts}^{n_{ts}^Y} \frac{S_{ts}^{TC}}{P_{ts}^{TC}} \rightarrow \min; \quad \sum_{ts}^{n_{ts}^I} q_{ts}^I = \sum_{ts}^{n_{ts}^I} \frac{S_{ts}^{TC}}{P_{ts}^{TC}} \rightarrow \min,$$

где  $q_{ts}^Y$ ,  $q_{ts}^I$  – суммарные критерии подбора технических средств;  $S_{ts}^{TC}$ ,  $P_{ts}^{TC}$  – соответственно стоимость и критерий пригодности использования  $ts$ -го технического средства.

Критерий минимизации сложности системы может быть записан в виде:

$$S_{св} = \sum_i \sum_j s_{i,j}; \quad \dim S_{св} \rightarrow \min.$$

Также минимизируется критерий числа технических средств обеих подсистем

$$n_{ts}^Y + n_{ts}^I \rightarrow \min.$$

Решение задач структурного построения предлагается осуществлять с использованием эволюционных методов, в частности генетических алгоритмов. Результатом решения задачи структурного построения является проектное решение архитектуры ИИУС ТТА.

## Выводы

Применение разработанной технологии позволяет оперативно синтезировать оптимальное проектное решение структуры интеллектуальных информационно-управляющих систем для различных тепло-технологических аппаратов.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 14-08-00198-а.*

### *Список литературы*

1. Артемова, С. В. База знаний оптимальной информационно-управляющей системы сушильной установки / С. В. Артемова, А. Н. Грибков // Програм. продукты и системы. – 2012.– № 1.– С. 61 – 64.
2. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М. : Горячая линия–Телеком, 2009. – 608 с.
3. Методы анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем / Н. А. Кузнецов [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 800 с.

---

## **Technology of Building Intelligent Management Information Systems of Heat Technological Devices**

S. V. Artemova<sup>1</sup>, A. A. Artemov<sup>2</sup>, P. A. Podkhvatilin<sup>1</sup>, A. A. Churikov<sup>3</sup>

*Department “Designing of Radio Electronic and Microprocessor Systems”, TSTU; sartemova@ya.ru (1);  
Department of Functional Analysis, Derzhavin Tambov State University (2);  
Department “Mechatronics and Measurement Technology”, TSTU (3)*

**Abstract:** The article describes the construction technology of intelligent information and control systems for heat technological devices (IICS HTD) associated with the various stages of their design. In the systems design process the following key steps can be identified: preliminary stage, technical and detail design stages. During the preliminary stage basic fundamental decisions are synthesized that define the informative concept of IICS HTD. During the technical design stage clarifying solutions are synthesized that implement the technical concept of IICS HTD. During the detail design stage system parameters are synthesized and documentation is created for IICS HTD.

The task of structural construction of design solutions is given. To formalize the problem of structural construction the following variables are introduced: the arrays of algorithm to module relations, the arrays of information element to corresponding subsystems algorithm relations, the arrays of module to information element relations. During the design stage the following basic criteria are minimized: the system complexity, selection and number of technical equipment, the volume of occupied memory with restrictions on the total number of algorithms as a part of the synthesized functional software module, the algorithm incorporated into the program modules just once, on duplicating of the occupied memory by information elements in different algorithms. The assigned task is solved using the genetic algorithms.

### *References*

1. Artemova S.V., Gribkov A.N. *Programmnye produkty i sistemy*, 2012, no. 1, pp. 61-64.
2. Denisenko V.V. *Kompyuternoe upravlenie tehnologicheskim protsesom, eksperimentom, oborudovaniem* (Computer control of the process, experiment, equipment), Moscow, 2009, 608 p.
3. Kuznetsov N.A., V Kulba.V., Kovalevskiy S.S., Kosyachenko S.A. *Metody analiza i siteza modulnyh informatsionno-upravlyayuschih system* (Methods of analysis and synthesis of modular management information systems), Moscow: FIZMATLIT, 2002, 800 p.

## **Technologie der Konstruktion der intellektuellsteuernden Systeme von den wärmetechnologischen Apparaten**

**Zusammenfassung:** Es wird die Technologie der Konstruktion der intellektuellsteuernden Systeme von den wärmetechnologischen Apparaten, die mit den verschiedenen Etappen des Prozesses ihrer Projektierung verbunden ist, betrachtet. Im Laufe der Projektierung der Systeme können die folgenden Hauptetappen ausgesondert werden: die einleitende Etappe, die Etappen der technischen und Arbeitsprojektierung.

Es wird die Aufgabe der strukturellen Konstruktion der Projektlösungen gebracht. Für die Formalisierung der Aufgabe der strukturellen Konstruktion werden die folgenden Variable eingeführt: die Massive der Zugehörigkeit des Algorithmus dem Modul, die Massive der Zugehörigkeit des informativen Elementes dem Algorithmus der entsprechenden Systemgruppen, die Massive der Wechselwirkung der Module mit den informativen Elementen. Auf der Stufe der Projektierung werden die folgenden Hauptkriterien minimisiert: die Komplexität des Systems, das Aufsammeln und die Zahl der technischen Mittel, der Umfang des eingenommenen Gedächtnisses mit den Beschränkungen auf die Gesamtzahl der Algorithmen im Bestande vom synthetisierten funktionalen Programmmodul, auf die Einmaligkeit der Aufnahme des Algorithmus in die Programmmodule, auf das Dublieren des eingenommenen Gedächtnisses von den informativen Elementen in verschiedenen Algorithmen. Die gestellte Aufgabe ist unter Ausnutzung der genetischen Algorithmen gelöst.

---

## **La technologie de la construction des systèmes intellectuels d'information et de commande des dispositifs thermotechnologiques**

**Résumé:** Est décrite la technologie de la construction des systèmes intellectuels d'information et de commande des dispositifs thermotechnologiques reliés avec de différentes étapes du processus de conception.

Dans le processus de la conception des systèmes peuvent être mis en évidence les principales étapes: étape préalable, étapes de la conception technique et de travail.

Est citée la tâche de la construction structurale des décisions de la conception. Pour la formalisation de la tâche de la construction structurale sont introduites les variables suivantes: ensembles de l'appartenance de l'algorithme au module des sous-systèmes correspondants, ensembles de l'interaction des modules avec les éléments d'information. Dans la phase de la conception sont minimisés les principaux critères: complexité du système, sélection et nombre des moyens techniques, volume de la mémoire. Le problème mis est résolu avec l'utilisant des algorithmes génétiques.

---

**Авторы:** *Артемова Светлана Валерьевна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; *Артемов Анатолий Анатольевич* – доктор физико-математических наук, профессор кафедры функционального анализа, ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина»; *Подхватилин Павел Александрович* – магистрант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Чуриков Александр Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника и технологические измерения», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», проректор по научно-инновационной деятельности, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».