

На правах рукописи

ПРИЛИПКО ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ АСУТП НА  
ПРИМЕРЕ СМ ЭВМ

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2010 г.

Работа выполнена в ОАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука» (ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука»), г. Москва.

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор  
Красовский Виктор Евгеньевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Рябцев Юрий Степанович

кандидат технических наук, доцент  
Попов Вадим Владимирович

Ведущая организация: Институт проблем информатики РАН

Защита состоится " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2010 г. в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 409.009.01 при ОАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука» по адресу:

119334, г. Москва, ул. Вавилова, д. 24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2010 г.

И.о. ученого секретаря диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук, профессор

Захаров С.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие современных высоких технологий сопровождается внедрением новых автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). Автоматизация новых технологических процессов требует разработки специфического оборудования, причем выбор проектных решений в инженерной практике, как правило, представляет значительные трудности из-за многообразия вариантов и большого числа трудно учитываемых и плохо формализуемых факторов.

Такие проекты сопряжены со значительными временными и материальными затратами, требуют нескольких циклов корректировки и во многих случаях не могут быть эффективно реализованы с помощью традиционных подходов. Решение сложных задач, связанных с обеспечением конкурентоспособности отечественных технических средств АСУТП, требует совершенствования методики их проектирования, прежде всего, схмотехнического, которое является одним из главных этапов разработки и оказывает решающее влияние на ее качество и срок.

В этой связи разработка эффективной и научно обоснованной методики проектирования технических средств для использования в АСУТП является важной и актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является разработка методики, позволяющей формализовать схмотехническое проектирование аппаратных (технических) средств АСУТП на основании экспертных и неполных данных о требованиях к проектируемому устройству, и ее апробация.

В связи с поставленной целью работа предполагает решение следующих основных задач:

- анализ современных методических средств проектирования аппаратных средств АСУТП;
- определение перспективных технологий и методов проектирования аппаратных средств для АСУТП;
- разработка типовой библиотеки объектов для схмотехнического про-

ектирования аппаратных средств АСУТП;

- разработка методики проектирования аппаратных средств для АСУТП на основе экспертной информации с использованием нейросетевых вычислений и нечетких множеств;
- реализация предлагаемой методики в виде экспертной системы поддержки принятия проектных решений;
- разработка аппаратных средств для ряда конкретных подсистем АСУТП и апробация предлагаемой методики;
- оценка эффективности предлагаемой методики.

Методы исследований. В основе исследований, выполненных в диссертационной работе, лежат объединение теорий нейронных сетей и нечетких множеств, методы принятия решений и проектирования технических средств вычислительной техники.

Научная новизна диссертационной работы заключается в решении ряда вопросов, связанных с проектированием технических средств АСУТП:

- разработаны библиотека объектов и дерево классов на ее основе, реализующие методику объектно-ориентированного проектирования;
- предложен модифицированный метод анализа иерархий, формализующий выбор схмотехнической реализации проектируемых технических средств АСУТП;
- разработана методика проектирования технических средств АСУТП с использованием аппарата объектно-ориентированного проектирования и математических методов теорий нейронных сетей и нечетких множеств.

Практическая реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы получены в ОАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука» в процессе выполнения ОКР и договорных работ в 2000 – 2010 гг., в частности, ОКР «Визуализация», проводившейся по Государственному контракту № РС/07/636/ОПК/к, заключенному между ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» и Минпромэнерго России. Автор принимал активное участие в создании

технического проекта данной ОКР, в рамках этой работы им разработан ряд аппаратных средств, широко используемых при построении КТПС СМ ЭВМ семейства СМ1820М. Предложенная автором методика проектирования аппаратных средств АСУТП является частью методологического обеспечения ОКР «Визуализация».

Разработанные автором методики и технические решения применены в следующих проектах:

- в системе мониторинга радиационной обстановки для Бушерской АЭС (Иран);
- в системе мониторинга радиационной обстановки для АЭС «Куданкулам» (Индия);
- в «Системе контроля технологических параметров реактора ИБР-2М на базе средств контроля и управления СМ1820М» для Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна;
- в программно-техническом комплексе для управления установкой «КЭУ-10», разработанной предприятием НТЦ ЭПУ ОИВТ РАН, и других.

Практическая реализация результатов работы подтверждается прилагаемыми к диссертации документами.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- научных семинарах и технических совещаниях ОАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука» в период 2007 – 2009 гг.
- Международной молодежной научной конференции XXXIII «Гагаринские чтения», МАТИ–РГГУ им. К.Э. Циолковского, г. Москва, апрель 2007 г.
- 58-й научно-технической конференции Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технического университета), май 2009 г.

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в 6 печатных работах: опубликовано 5 статей, из них 3 в журналах, рекомендуемых ВАК; тезисы научного доклада.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и приложений. Работа содержит 210 страниц, включая 42 рисунка. Список цитированной литературы включает 57 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, приведена общая характеристика работы.

В первой главе определены основные понятия, необходимые для изложения результатов диссертационной работы. Проведен обзор методов схемотехнического проектирования аппаратных средств вычислительной техники и методов принятия решений, применяемых при определении состава сложных технических систем, состоящих из большого числа объектов. На основе анализа преимуществ и недостатков указанных методов ставятся цели и формулируются задачи, решенные в данной работе.

Рассмотрены особенности, связанные с разработкой технических средств автоматизации промышленного применения. Большинство технических требований к таким средствам можно считать стандартными и типовыми для всех устройств этого класса. Это позволяет составить списки распространенных параметров сигналов, которые должно уметь обрабатывать и формировать устройство, интерфейсов связи, алгоритмов управления. Чаще всего различаются количество и состав сигналов, физические интерфейсы и логические протоколы связи, требования к климатическому исполнению, модифицируются алгоритмы управления.

На основании стандартности реализуемых операций можно сделать вывод, что набор структурных блоков остается одинаковым: «ввода сигналов», «обработки информации», «вывода сигналов» и «связи». При этом количество и состав сигналов, интерфейсы связи, требования к быстродействию могут из-

меняться. Но сами функциональные блоки, реализующие конкретные операции (например, ввод сигналов типа «сухой контакт» (СК) или вывод сигналов тока 4–20 мА), остаются неизменными. На этом основании возможно сформировать набор функциональных блоков (библиотеку), позволяющий создавать практически любые устройства. Выбор того или иного блока из библиотеки зависит от требуемых параметров устройства.

Наиболее распространенной методикой проектирования электронных технических средств, в том числе схмотехнического, реализующей описанный выше подход, является функционально-модульный принцип разработки. Но для применения в сфере разработки технических средств АСУТП он имеет некоторые недостатки и нуждается в развитии и систематизации. К недостаткам относится то, что данный метод содержит только самые общие рекомендации, сводящиеся к простому повторному применению опробованных ранее решений. Формальных методов разделения устройства на « типовые модули », классификации этих модулей и выбора наиболее подходящего для конкретного устройства не предлагается.

При модификации метода автором предлагается использовать принцип объектно-ориентированного проектирования (ООП). В данном случае объектами являются функциональные блоки, реализующие функциональный модуль или его часть. Автором и его коллегами в ОАО «ИНЭУМ им И.С. Брука» разработана библиотека объектов для САПР РСAD-2004, насчитывающая более 460 объектов и продолжающая пополняться, активно применяемая при проектировании нового оборудования. Автором предлагается вариант набора классов, сформированный на основе многолетнего практического опыта проектирования технических средств АСУТП и позволяющий упорядочить и классифицировать объекты, входящие в библиотеку. Свойства объектов, входящих в библиотеку, выбраны на основе анализа наиболее частых требований к параметрам технических средств, а реализация методов тщательно рассчитана, отлажена, многократно испытана и хорошо себя зарекомендовала в реальных устройствах, выпускаемых серийно. Интерфейсы объектов унифицированы и

стандартизованы по типам и именам входов и выходов.

Методика схемотехнического проектирования аппаратных средств АСУТП при этом сводится к выбору необходимых объектов из библиотеки и установке ассоциаций между ними – компоновке. Определение оптимального набора объектов, входящих в конкретное устройство, производится на основе свойств объектов и требований к проектируемому устройству.

Сложность задачи компоновки обусловлена большим количеством и противоречивостью критериев оптимальности, количеством объектов, их свойств и требований к разрабатываемому устройству.

Основными методами поддержки принятия решения, применяемыми при компоновке для определения состава сложных технических систем, включающих в себя большое число объектов, являются метод попарных сравнений (бинарных отношений), метод экспертных оценок, метод Дельфи, метод анализа иерархий (МАИ). В ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» разработаны два метода компоновки: на основе теории систем массового обслуживания (СМО метод) и метод структурно-компоновочного вектора (ВСТ-СКВ метод). Оба метода используются при компоновке программно-технических комплексов СМ ЭВМ.

Достоинства и недостатки указанных методов при их использовании для компоновки аппаратных средств АСУТП приведены в табл. 1. Как видно, недостатки большинства методов перевешивают их достоинства. Исключением является метод анализа иерархий, имеющий больше достоинств, чем недостатков.

По мнению автора, методика проектирования аппаратных средств может быть усовершенствована путем модификации метода анализа иерархий. Этот метод обладает рядом преимуществ (например, возможность учитывать «человеческий фактор», определять качество исходных данных и степень доверия к ним, универсальность), позволяющих на его основе построить гибкий и мощный инструмент для решения задачи оптимальной компоновки. Вместе с тем, он имеет отмеченные недостатки, препятствующие его внедрению в инженерную практику схемотехнического проектирования аппаратных средств АСУТП,



Таблица 1. Достоинства и недостатки методов принятия решений

Метод	Достоинства	Недостатки
попарных сравнений	1) простота 2) универсальность	1) недостоверный результат при использовании одним экспертом; 2) необходимость использования группой экспертов; 3) невозможность нахождения количественной оценки предпочтения
экспертных оценок	1) универсальность	1) необходимость группы экспертов; 2) трудоемкость обработки результатов; 3) большая трудность прямого ранжирования более 5 – 7 объектов
Дельфи	1) универсальность	1) необходимость группы заочных экспертов; 2) большие временные затраты и трудоемкость обработки результатов; 3) трудность прямого ранжирования большого числа объектов
анализа иерархий	1) возможность учитывать «человеческий фактор»; 2) возможность определять качество исходных данных и степень доверия к ним; 3) универсальность	1) чрезмерная для одного эксперта трудоемкость работы по подготовке данных; 2) большая трудоемкость процедуры минимизации противоречий
систем массового обслуживания	1) точность	1) высокая сложность и громоздкость математического аппарата; 2) предназначенность для компоновки ПТК крупноблочным способом
ВСТ-СКВ	1) универсальность; 2) точность	1) высокая сложность и трудоемкость получения результата
модифицированный ВСТ-СКВ	1) универсальность; 2) относительная простота	1) чрезмерно большое количество функций принадлежности; 2) предназначенность для компоновки ПТК крупноблочным способом

что делает модификацию МАИ для применения в инженерной практике актуальной задачей. Так как задача компоновки имеет элемент творчества и требует применения таких качеств, присущих человеческому разуму, как опыт и интуиция, представляется логичным и оправданным при модификации МАИ использовать интеллектуальные вычислительные системы – объединение методов нейронных сетей, генетических алгоритмов и нечетких систем, сохраняющее и усиливающее достоинства этих методов.

Вторая глава содержит описание модифицированного метода анализа иерархий для определения оптимального компоновочного состава аппаратных средств АСУТП.

Показана связь МАИ с нечеткими множествами и нейронными сетями, и обосновано применение этих теорий при модификации МАИ.

В теории нечетких множеств для задания функций принадлежности нечеткого множества широко применяется метод парных сравнений Саати. Этот же метод используется в МАИ для нахождения показателей предпочтения объектов по различным требованиям и показателей важности самих требований. Таким образом, при расчете промежуточных показателей, используемых в МАИ для нахождения окончательного ранга объектов, фактически происходит задание функций принадлежности нечетких множеств, описывающих объекты и требования к ним.

Для нахождения ранга  $p_i$  объекта методом анализа иерархий используется формула:

$$p_i = \sum_{j=1}^n g_j \cdot v_{ij}, \quad (1)$$

где:  $n$  – число требований,  $g_j$  – показатели важности требований,  $v_{ij}$  – показатели предпочтения  $i$ -го объекта по  $j$ -му требованию.

В то же время в теории нейронных сетей для описания работы простейшего нейрона и персептрона (простейшей модели однонаправленной нейронной сети) применяется формула:

$$y = f\left(\sum_{i=0}^N w_i u_i\right), \quad (2)$$

где:  $w_0$  – пороговое значение,  $u_0 = -1$ ,  $u_i$  – входные сигналы данного нейрона,  $w_i$  – синаптические веса соответствующих входов,  $y$  – выходной сигнал нейрона,  $N$  – число входов нейрона.

Сравнение этих формул показывает, что они имеют большое сходство. При этом показатели предпочтения объектов по различным требованиям  $v_{ij}$  можно поставить в соответствие синаптическим весам входов нейрона  $w_i$ , а показатели важности требований  $g_j$  – значению сигнала на входе нейрона  $u_i$ . В этом случае процесс расчета показателей предпочтения объекта по различным требованиям выполняет функцию обучения нейрона.

Учитывая особенности задачи компоновки, автором введены следующие изменения, модифицирующие МАИ для его практического применения при проектировании аппаратных средств АСУТП с использованием методов объектно-ориентированного проектирования.

Во-первых, введены ограничения на исходные данные, обусловленные особенностями предметной области, в которой будет применяться модифицированный метод. Множество требований, предъявляемых к проектируемому устройству, разделено на две части – общие и индивидуальные требования. Общие требования – это требования, которые предъявляются к любым разрабатываемым аппаратным средствам АСУТП, независимо от их назначения и исполняемых функций. Считается, что набор общих требований, которые необходимо учитывать при проектировании, например, стоимость, надежность, является ограниченным и постоянным.

В то же время каждое проектируемое аппаратное средство должно учитывать особенности конкретной АСУТП. Для обеспечения учета таких особенностей используются индивидуальные требования, которые определяются требованиями к функциональности и техническим характеристикам, например, диапазону входных напряжений. Индивидуальные требования являются «абсолютно» важными: если хоть одно из них не выполняется, то устройство стано-

вится непригодным.

Во-вторых, сделано предположение, что сравнительную оценку важности общих требований можно с достаточной точностью провести при помощи прямого метода экспертной оценки, не прибегая к косвенному методу парных сравнений Саати. Это возможно, так как количество общих требований невелико и в большинстве практических случаев решающее значение имеют не более двух – трех требований, а значение остальных несущественно.

В-третьих, внесены изменения в алгоритм расчета синаптических весов входов нейронов. Значения синаптических весов входов нейронов, соответствующих каждому сравниваемому объекту, из которых komponуется проектируемое устройство, рассчитываются при помощи системы на основе базы нечетких правил типа IF-THEN, построенной по методу Такаги-Сугено. В качестве исходных данных для этой системы используются свойства объекта, соответствующего данному нейрону, и набор индивидуальных требований к проектируемому аппаратному средству.

Исходными данными для модифицированного метода анализа иерархий, применяемого при компоновке аппаратных средств АСУТП, являются:

1) множество  $\{Y_i\}$ ,  $i \in [1, n]$ , содержащее экспертные оценки важности каждого из общих требований, предъявляемых к проектируемым аппаратным средствам, где  $n$  – число общих требований;

2) множество  $\{Z_j\}$ ,  $j \in [1, m]$ , индивидуальных требований к функциональности проектируемых аппаратных средств, где  $m$  – число индивидуальных требований.

Для сравнительной оценки важности общих требований автором предлагается использовать метод, состоящий из следующих этапов:

- 1) на основании технических требований к проектируемому устройству разработчик, выступающий в качестве эксперта, представляет значимость (важность) всех общих требований в виде множества  $\{Y_i\}$ ,  $i \in [1, n]$ , где  $n$  – число элементов множества и  $Y_i \in [0, 10]$ , при этом 0 соответствует отсутствию требований к устройству по данному пунк-

ту, а 10 – максимальной важности требования (по аналогии с методом парных сравнений Саати);

- 2) преобразование множества  $\{Y_i\}$  в множество  $\{u_i\}$  путем нормализации элементов множества  $Y_i$  на интервал  $[0, 1]$ :

$$u_i = \frac{Y_i}{\sum_{j=1}^n Y_j}.$$

В результате, множество  $\{u_i\}$  содержит сравнительные показатели важности общих требований.

Нейронная сеть, используемая для расчета рангов объектов (выбора наиболее подходящих для проектируемого устройства), содержит количество нейронов  $\eta$ , равное общему количеству объектов  $l$ , которые могут применяться для компоновки проектируемого устройства. Каждый нейрон имеет количество входов, равное числу общих требований  $n$ . На выходе нейрона формируется значение, определяющее ранг соответствующего ему объекта.

Предложенная автором база нечетких правил, часто называемая лингвистической моделью, с помощью которой рассчитываются синаптические веса входов одного нейрона, является множеством нечетких правил вида:

$$\{R^k\}: \mathbf{IF} (x_k \text{ это } A_k) \mathbf{THEN} w_k = c_k,$$

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^K \mu_{A_k}(x_k) \cdot w_k}{\sum_{k=1}^K \mu_{A_k}(x_k)} \cdot \prod_{j=1}^m \mu_{Z_j}(z_j),$$

где:  $\{R^k\}$ ,  $k \in [1, K]$  – база правил, содержащая  $K$  нечетких правил;

$c_k$ ,  $k \in [1, K]$  – константа, зависящая от правила,  $c_k \in (0, 10]$ ;

$A_k = \{x_k, \mu_{A_k}(x_k)\}$ ,  $k \in [1, K]$  – нечеткие множества, заданные своими функциями принадлежности  $\mu_{A_k}(x_k)$  на множествах возможных значений свойств объекта, ответственных за реализацию общих требований;

$x_k$ ,  $k \in [1, K]$  – значения переменных, характеризующих свойства объекта, ответственные за реализацию общих требований;

$z = \{z_j, \mu_{Z_j}(z_j)\}$ ,  $j \in [1, m]$  – классическое множество, заданное функциями

принадлежности  $\mu_{z_j}(z_j)$ , равными 0 или 1, на множествах значений свойств объекта, ответственных за реализацию индивидуальных требований;

$z_j, j \in [1, m]$  – значения переменных, характеризующих свойства объекта, ответственные за реализацию индивидуальных требований;

$i, i \in [1, n]$  – номер входа нейрона.

Функции, стоящие в части THEN правил, определены в виде констант (иногда такой способ называют «упрощенным алгоритмом нечеткого вывода») таким образом, что эти функции принимают наибольшие значения в случаях, когда значения свойств объектов соответствуют нечетким множествам «высокое быстроедействие», «высокая помехозащищенность», «низкая аппаратная сложность», «высокая надежность», «высокая доступность элементной базы», «широкий диапазон рабочих температур», «низкая стоимость» и «низкое энергопотребление». Нечеткие множества  $\{A_k\}$ , заданные на множествах возможных значений свойств объектов, ответственных за реализацию общих требований к проектируемому устройству, определяют понятия «очень низкий», «низкий», «средний», «выше среднего» и «высокий». Использование для лингвистической оценки свойств объектов пяти термов позволяет оценить объект достаточно точно при сохранении простоты модели.

Множество индивидуальных требований  $Z$  задано на множестве групповых и индивидуальных свойств всех объектов, из которых производится компоновка. Функция принадлежности  $\mu_{z_j}(z_j)$  множества  $Z$  принимает значение 1 для тех свойств объектов, которые обеспечивают реализацию индивидуальных требований, и значение 0 – для всех остальных свойств.

Множества  $z$  индивидуальных требований, предъявляемых к отдельным объектам, являются подмножествами множества  $Z$  индивидуальных требований, предъявляемых к проектируемому устройству. В множество, соответствующее конкретному объекту, включаются только те индивидуальные требования, которые могут быть предъявлены к данному объекту.

По сравнению с традиционным методом парных сравнений Саати, использование такой нечеткой системы имеет ряд преимуществ. Во-первых, она

позволяет упростить и ускорить расчет синаптических весов. Во-вторых, появляется возможность легко ввести в него учет изменяющихся индивидуальных требований, от которых зависит степень влияния некоторых свойств объекта на его способность удовлетворять общим условиям. И, в-третьих, нечеткая система позволяет более органично сочетать и легко учитывать и оценивать величины количественного и качественного характера, в которых представлены значения свойств объектов и требований к проектируемым аппаратным средствам.

В итоге, модифицированный метод анализа иерархий реализован в виде нейро-нечеткой системы (рис. 1), состоящей из нейронной сети, осуществляющей сравнение объектов, и нечеткой системы на основе базы нечетких правил.

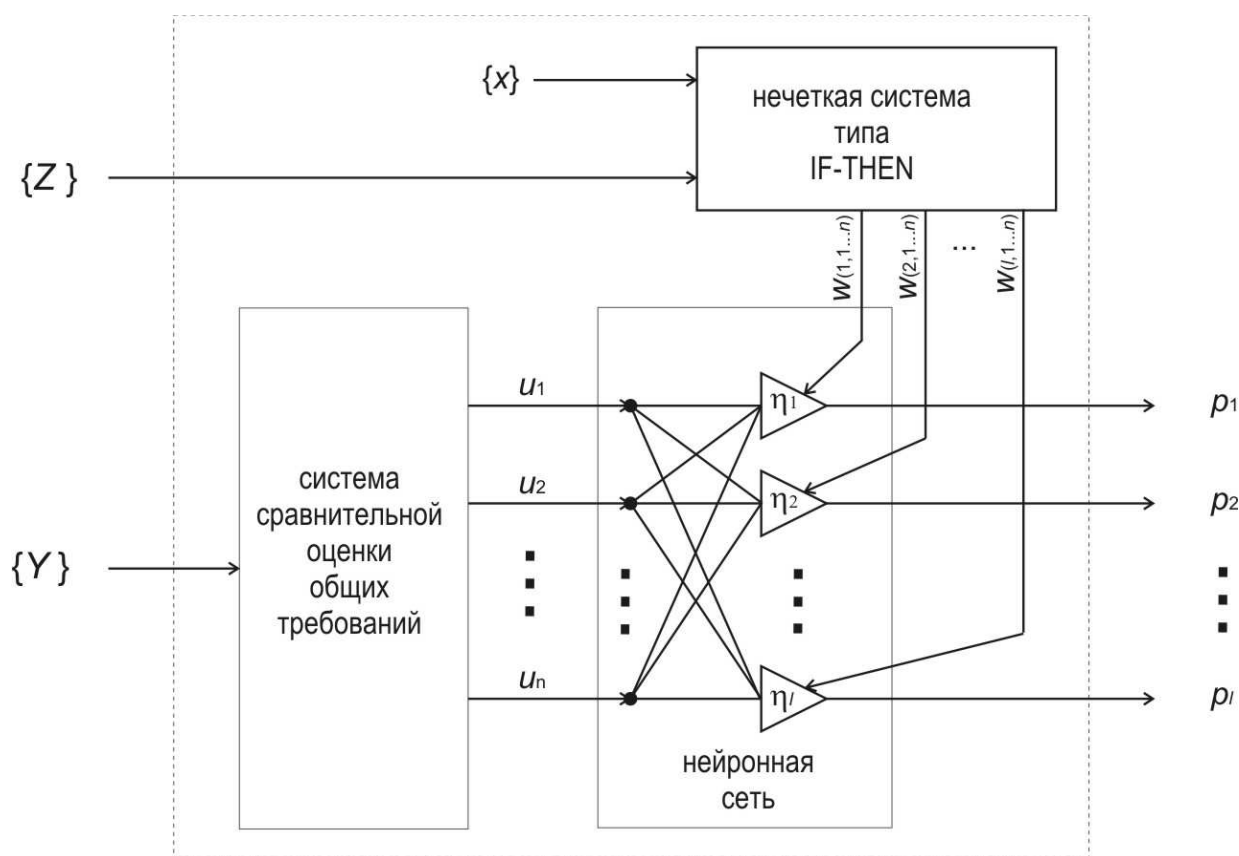


Рис. 1. Структурная схема нейро-нечеткой системы, реализующей модифицированный МАИ

Нечеткая система осуществляет расчет синаптических весов  $w_i$  входов нейронов на основе свойств объектов, представленных нейроном, и индивидуальных требований к функциональности проектируемого изделия. На вход ней-

ро-нечеткой системы подаются экспертные оценки важности требований к проектируемому устройству, а на выходе считываются ранги  $p_1, \dots, p_l$  объектов.

В компоновочный состав проектируемого устройства включаются объекты, имеющие максимальный в своем классе ранг, чем обеспечивается оптимальность сконфигурированного устройства с точки зрения удовлетворения требований к нему.

Описанный метод реализован в среде системы MATLAB в виде экспертной системы поддержки принятия проектных решений, которая может применяться при схемотехническом проектировании аппаратных средств АСУТП.

Система обеспечивает ввод индивидуальных требований к проектируемому устройству и экспертных оценок важности общих требований. Окно интерфейса системы показано на рис. 2. Результаты сравнения объектов представляются в виде столбцовой диаграммы (рис. 3).

Компоновка технических средств АСУТП модифицированным методом анализа иерархий

Дискретный ввод "сухой контакт"

- общий минус
- общий плюс

потенциальный сигнал:

- 9...18 вольт
- 18...36 вольт
- 36...72 вольт

частотный сигнал:

- $f < 20$  кГц
- $20$  кГц  $< f < 80$  кГц
- $f > 80$  кГц

- изолированный
- число каналов  $> 32$
- индикация

Дискретный вывод

- сухой контакт
- нижний ключ
- верхний ключ

рабочее напряжение:

- $< 30$  вольт
- $< 50$  вольт
- $\sim 220$  вольт
- $\approx 220$  вольт

рабочий ток:

- $< 500$  мА
- $< 1$  А
- $< 3$  А
- $< 10$  А

- ШИМ
- ЧИМ
- изолированный
- индикация

Аналоговый ввод

термопары:

- тип К
- тип L

термосопротивления:

- Pt100
- Pt1000

токовый вход:

- 0...5 мА
- 0...20 мА
- 4...20 мА

вход напряжения:

- 0...2.5 В
- 0...5 В
- 0...10 В

- изолированный

Аналоговый вывод

токовый выход:

- 0...5 мА
- 0...10 мА

выход напряжения:

- 0...2.5 В
- 0...5 В
- 0...10 В

- изолированный

Интерфейс-системный

- MicroPC (ISA)
- PCI
- CompactPCI

периферийный

- CompactFLASH
- IDE
- LPT

полевой

- RS-232
- RS-485
- CAN
- Ethernet
- USB
- 2 канала
- 4 канала
- изолированный

Обработка блока:

- 80386
- 80486
- Pentium
- 8051
- AVR
- ARM
- ПЛИС Cyclon
- ПЛИС Cyclon II

Оценки важности (от 0 до 10)

Быстродействие	7	аппаратная сложность	0
помехозащищенность	9	доступность элементов	0
надежность	10	диапазон температур	10
стоимость	5	энергопотребление	4

Компоновать!

Рис. 2. Интерфейс экспертной системы для компоновки

На диаграмме отображаются максимум три объекта из каждого класса, имеющие максимальный рейтинг. Остальные объекты из этих классов, а также классы, все объекты которых имеют нулевой рейтинг, на итоговой диаграмме



не показываются.

В третьей главе описан ряд технических средств, разработанных автором с помощью предлагаемого метода и применяющихся в промышленных контроллерах и коммуникационных процессорах серии CM1820M, используемых в составе комплекса технических и программных средств СМ ЭВМ. Также рассмотрены примеры практического применения комплекса технических и программных средств СМ ЭВМ в реальных автоматизированных системах управления технологическими процессами.

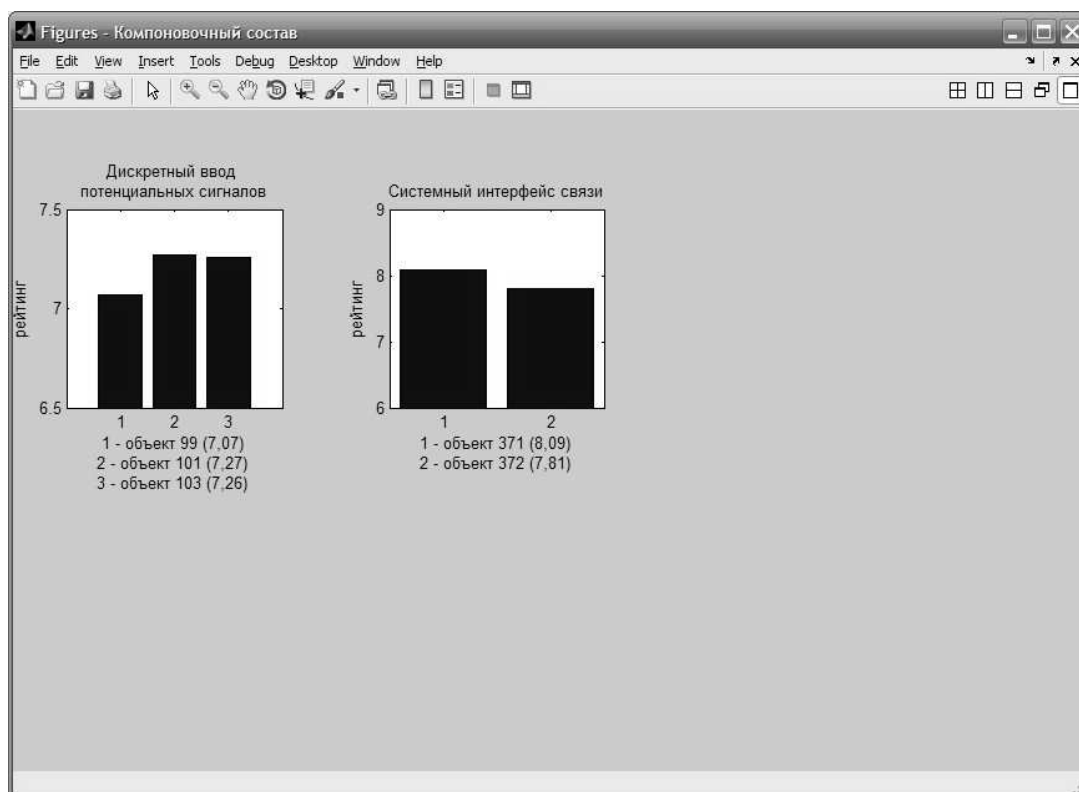


Рис. 3. Результат работы программы компоновки

Предложенная автором методика схемотехнического проектирования аппаратных средств АСУТП разработана в процессе выполнения ОКР и договорных работ в 2000 – 2010 гг., в частности, ОКР «Визуализация», проводившейся по Государственному контракту № РС/07/636/ОПК/к, заключенному между ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» и Минпромэнерго России и успешно завершено в 2009 году. Целью последней ОКР являлась разработка и реализация промышленных технологий двойного применения в области вычислительных

систем, в первую очередь, критически важных для технологического перевооружения и создания автоматизированных систем контроля и управления объектами различной степени сложности и назначения в реальном масштабе времени. Для выполнения поставленной цели в ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» разработана полная и достаточная номенклатура отечественных технических, программных, инструментальных и методологических средств, составляющих комплекс технических и программных средств СМ ЭВМ (КТПС СМ ЭВМ), продолжающий и развивающий основные принципы построения СМ ЭВМ, реализуемые на основе современных архитектурных решений и элементно-конструктивной базе. Разработка нового поколения управляющих вычислительных комплексов СМ ЭВМ является важным шагом в создании отечественной технологической базы автоматизации управления и обработки информации. Разработка и серийное производство конкурентоспособной и лицензионно-чистой отечественной продукции данного класса снижает зависимость российской промышленности и особенно оборонного комплекса от зарубежных производителей, обеспечивает возможность последующей модернизации и техническую поддержку этой продукции на всем жизненном цикле ее эксплуатации. Автор принимал активное участие в создании технического проекта данной ОКР, в рамках этой работы им разработан ряд аппаратных средств, активно используемых при построении КТПС СМ ЭВМ семейства СМ1820М. Предложенная автором методика проектирования аппаратных средств АСУТП является частью методологического обеспечения ОКР «Визуализация».

В состав технических средств комплекса входят управляющие вычислительные комплексы СМ1820 МВУ-500 и СМ1820 МВУ-400, коммуникационные процессоры СМ1820М КП5, промышленные контроллеры модульного типа СМ1820М КПД3 и промышленные контроллеры моноблочного типа СМ9107, обеспечивающие возможность создания на их основе иерархических многоуровневых распределенных систем контроля и управления.

С помощью предложенной в данной работе методики автором разработаны следующие модули для применения в коммуникационных процессорах (КП)

и промышленных контроллерах СМ1820М КПДЗ:

- модуль сетевой МС-Ethernet100;
- модуль сетевой МС-CAN;
- модуль сетевой МС485РС;
- модуль сетевой МС485РС3;
- модули процессора МП3.2, МП6, МП7 и МП8;
- модули дискретного ввода МДВ5, МДВ6 и МДВ7;
- модуль число-импульсного ввода МВЧИС1;
- модуль дискретного вывода МДВыв5, МДВыв7, МДВыв8 и МДВыв9.

В качестве примера определен компоновочный состав модуля МДВ7 для промышленных контроллеров модульного типа СМ1820М КПД. Согласно техническому заданию, модуль должен работать в составе систем формата MicroPC и обеспечивать гальванически изолированный дискретный ввод потенциальных сигналов напряжением 24 В по 64-м каналам.

В интерфейсном окне системы заданы требования к проектируемому устройству (рис. 2). Для этого отмечены флажками пункты «18...36 вольт» на панели «Дискретный ввод – потенциальный сигнал», «изолированный» и «число каналов > 32» на панели «Дискретный ввод», а также «MicroPC (ISA)» на панели «Интерфейс – системный». Так заданы индивидуальные требования к проектируемому модулю: формат MicroPC, изолированный дискретный ввод сигналов напряжением 24 В, 64 канала (больше 32-х). На панели «Оценки важности» введены экспертные оценки важностей общих требований к проектируемому модулю. Для данного модуля техническим заданием определено, что наиболее важными являются надежность и работа в промышленном диапазоне температур, затем следуют помехозащищенность, быстродействие, стоимость и энергопотребление в порядке убывания важности. Каких-либо требований к аппаратной сложности модуля и доступности элементной базы не предъявляется. Поэтому для требований по надежности и диапазону рабочих температур установлена оценка важности 10, для помехозащищенности – 9, быстродействия – 7, стоимости – 5, энергопотребления – 4.

На рис. 3 показана итоговая диаграмма, сгенерированная экспертной системой. Система определила, что наиболее соответствующими поставленным требованиям будут три объекта из класса «дискретный ввод потенциальных сигналов» и два объекта из класса «системный интерфейс связи». Это объекты: номер 99 с рейтингом 7,07; номер 101 с рейтингом 7,27; номер 103 с рейтингом 7,26; номер 371 с рейтингом 8,09; номер 372 с рейтингом 7,81. Таким образом, наиболее оптимальным выбором будут объекты с номерами 101 и 371. Согласно списку объектов, входящих в библиотеку, объект номер 101 применяется совместно с объектом номер 424. Таким образом, в компоновочный состав модуля МДВ7 войдут объекты с номерами 101, 371 и 424.

Разработанные модули имеют ряд преимуществ по сравнению с имеющимися на рынке аналогами. Сетевые модули и модули ввода-вывода обеспечивают повышенную помехозащищенность и отказоустойчивость. Модули дискретного вывода МДВыв5, МДВыв7, МДВыв8 и модуль дискретного ввода МДВ5 имеют уникальные возможности контроля целостности линий связи с объектом контроля и управления и диагностики состояния нагрузки, не реализованные в продукции других производителей. Модули процессоров МП3.2, МП7 и МП8 обеспечивают резервирование линий связи с другими частями автоматизированной системы контроля и управления, что также является отличительной особенностью разработанных модулей. Модуль процессора МП6 является единственным на сегодняшний момент процессорным модулем формата MicroPC, изначально ориентированным на работу под управлением системы промышленного программирования CoDeSys стандарта МЭК 61131-3.

Кроме обеспечения уникальной функциональности и повышенных, по сравнению с аналогичными изделиями, технических характеристик, разработка указанных модулей решает ряд важных задач. Как указано ранее, КТПС СМ ЭВМ, в котором используются разработанные автором модули, предназначен для применения в составе промышленных систем двойного назначения, в том числе на предприятиях оборонно-промышленного комплекса, объектах использования атомной энергии и авиационно-космической промышленности. В этой

связи, КТПС СМ ЭВМ должен не только обеспечивать высокие технические характеристики, но и удовлетворять требованиям по долговременной доступности использованных технических средств, контролю над применяемыми техническими решениями и элементной базой. Поэтому только самостоятельная разработка и производство технических средств для КТПС СМ ЭВМ могут обеспечить выполнение данных требований и одновременно гарантировать высокие технические характеристики, полностью соответствующие высоким требованиям, предъявляемым к продукции двойного назначения. Таким образом, разработка указанных модулей обеспечивает удовлетворение основных требований государственной политики в области технической независимости и информационной безопасности, а также обеспечивает значительный экономический эффект за счет импортозамещения, повышения соотношения производительность/стоимость при создании различных информационно-управляющих систем и комплексов (в том числе встроенных) и существенного повышения качественных показателей систем контроля и управления, включая надежность и безопасность.

Высокие технические характеристики разработанных автором модулей подтверждаются актами испытаний промышленных контроллеров СМ1820М КПДЗ и коммуникационных процессоров СМ1820 КП5, построенных на основе данных модулей, выполненных в рамках приемо-сдаточных испытаний ОКР «Визуализация», а также многолетней статистикой безотказной работы на объектах атомной промышленности и Московского метрополитена.

Разработанные в ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука» КП применяются в системах мониторинга радиационной обстановки на Бушерской АЭС (Иран) и АЭС «Куданкулам» (Индия). Промышленные контроллеры СМ1820М КПДЗ, разработанные в ОАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука», применяются в ряде систем:

- «Система телемеханики электроснабжения (СКЭ) корпуса 901», разработанная по заказу ФГУП ПО «Электрохимический завод», г. Красноярск;
- «Система контроля технологических параметров реактора ИБР-2М на

базе средств контроля и управления СМ1820М» для Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна;

- выполненная совместно с НИИ ВК М. А. им. Карцева для Московского метрополитена «Система телемеханики тяговых энергетических подстанций второй очереди линии мини-метро. Депо Фили»;
- программно-технический комплекс для управления установкой «КЭУ-10», разработанной предприятием НТЦ ЭПУ ОИВТ РАН, и другие.

Применение предложенной автором методики при разработке указанных модулей позволило сократить количество циклов корректировки принципиальных схем и печатных плат. 75% из описанной номенклатуры модулей соответствовали предъявляемым техническим требованиям без корректировки, остальные потребовали только одной корректировки. Аналогичные модули, разработанные ранее с помощью традиционных методов, потребовали от одной до трех корректировок. Это подтверждает эффективность предложенной методики по сравнению с традиционными методами.

В приложении приведены перечень объектов, входящих в библиотеку, их свойства и документы внедрения диссертационной работы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В итоге проведенных исследований и разработок, направленных на совершенствование методов схемотехнического проектирования аппаратных средств для применения в составе нового поколения комплекса технических и программных средств СМ ЭВМ для автоматизированных систем управления технологическими процессами, получены следующие основные результаты:

1. Определены на основе анализа современного состояния перспективные подходы и технические принципы проектирования аппаратных средств для применения в системах АСУТП, которые положены в основу разработки нового поколения технических средств, отвечающих современным требованиям.
2. Усовершенствован с использованием аппарата ООП классический

функционально-модульный принцип разработки аппаратных средств. Разработана библиотека объектов и предложено дерево классов объектов, использующиеся при схемотехническом проектировании аппаратных средств для АСУТП.

3. Разработана методика проектирования аппаратных средств для АСУТП с использованием математического аппарата нейронных сетей и нечетких множеств. Методика позволяет формализовать схемотехническое проектирование аппаратных средств в условиях неполной и экспертной информации о требованиях к проектируемому устройству и принимать обоснованные решения при анализе многочисленных альтернатив, возникающих в процессе разработки.
4. Разработан с использованием предлагаемой методики проектирования ряд аппаратных средств для применения в составе комплекса технических и программных средств СМ ЭВМ нового поколения. Разработанные модули применяются в коммуникационных процессорах СМ1820М КП5 и промышленных контроллерах СМ1820М КПД3, использованных в ряде реальных систем АСУТП.
5. Проведена апробация предлагаемой методики проектирования аппаратных средств при эксплуатации разработанных аппаратных средств в реальных подсистемах АСУТП, показавшая и подтвердившая эффективность методики, позволяющей принимать рациональные решения при компоновке разрабатываемых аппаратных средств.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Прилипко В.А. Процессорный модуль МП3.2 для промышленных систем телемеханики и контроля // Сборник научных трудов Международной молодежной научной конференции XXXIII «Гагаринские чтения». – М.: МАТИ, 2007.
2. Бабанов И.И., Глухов А.В., Прилипко В.А. и др. СМ1820М в системах автоматизации атомных станций // ControllEngineering. – 2007. – №5.

3. Глухов В.И., Прилипко В.А., Каневский В.Г. Коммуникационный процессор СМ1820М КПД // Приборы. – 2007. – №6.

4. Глухов В.И., Прилипко В.А., Глухов А.В. СМ1820М: все для автоматизации технологических процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2007. – №7.

5. Прохоров Н.Л., Глухов В.И., Прилипко В.А. и др. Программно-технические комплексы СМ1820М в системах автоматизации технологических процессов на атомных станциях // Вопросы радиоэлектроники, серия ЭВТ. – 2008. вып. 2.

6. Прилипко В.А., Карпов В.Я., Красовский В.Е. Модификация метода анализа иерархий для задач проектирования аппаратных средств АСУТП // Вопросы радиоэлектроники, серия ЭВТ. – 2009 г., вып. 3.