



УДК 37.014.1

А. В. Горячев, Н. Е. Новакова

МОДЕЛЬ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ МИКРОСИСТЕМОТЕХНИКИ

Представлена модель предметной области автоматизированного проектирования объектов микросистемотехники. Рассмотрены методы концептуального описания объектов микросистемной техники на основе онтологического подхода.

САПР, процесс проектирования, знания, отношения, сенсор, датчик, онтология, микросистема

Для современных САПР характерно большое разнообразие объектов проектирования при значительном росте их сложности. В настоящее время микросистемотехника (МСТ) представляет собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений электроники [1]. Создание автоматизированной системы проектирования для такой предметной области, как микросистемотехника, возможно лишь путем моделирования всех аспектов, характеризующих процесс разработки изделия МСТ [2]. Объекты МСТ являются сложными и гетерогенными, включающими разнородные компоненты: интегральные схемы и системы, микроэлектромеханические системы и чувствительные элементы, электронные и фотонные устройства [3].

Одной из проблем автоматизации проектирования сложных технических объектов является наличие целой совокупности неформализуемых или *плохо формализуемых* задач, решение которых основано на применении эвристик, базирующихся на опыте специалистов-проектировщиков. В настоящее время перспектива развития систем автоматизированного проектирования, особенно в слабоструктурированных предметных областях, связывается с методами искусственного интеллекта. Исследования в этой области позволяют сформировать технологию, главную роль в которой играют знания предметной области проектной задачи или класса задач.

Для решения задач автоматизированного проектирования сложного технического объекта наибольший интерес представляют *системные модели* с достаточно высоким уровнем абстрагирования. В [4], [5] была представлена многоуровневая обобщенная мо-

дель автоматизированного проектирования с применением *онтологического подхода*. Суть модели – применение *инженерных знаний автоматизированного проектирования* как системы абстрактных понятий профессионального содержания, порождающих семиотические структуры, которые позволяют однозначно описать, распознать и дифференцировать реальные объекты предметной области и их свойства. В модели обоснован способ организации фрагментов прикладных знаний в виде небольших, объединяемых и декомпозируемых единиц, способных взаимодействовать друг с другом. Важнейшие компоненты *декларативных знаний* определены в виде понятий предметной области, отношений, свойств объектов, проектных описаний и ситуаций, которые образуют систему, обеспечивающую выявление расстояния в метрическом пространстве свойств между различными экземплярами проектируемых объектов. Базовым компонентом *процедурных знаний* определено функциональное отображение процесса автоматизированного проектирования в виде двухместного предиката, значения аргументов которого образует пространство метризуемых проектных ситуаций. *Маршрут проектирования* определен как транзитивное замыкание *типовых проектных процедур* на множестве *проектных ситуаций* в виде конечной последовательности базовых единиц процесса проектирования.

Верхний уровень модели представлен метазнаниями или знаниями общего назначения, справедливыми в различных областях *проектной деятельности* и характеризующими универсальные понятия и методы решения задач [6]. Знания второго уровня – это собственно *профессиональные знания* о проектировании конкретного *класса изделий*. Знания нижнего уровня представляют информацию о текущей *проектной ситуации*, включая понятия, отношения и процедуры, с которыми проектировщик имеет дело непосредственно в момент проектирования, являющиеся конкретным выражением знаний второго уровня. Декларативные знания представляют собой структуру фактов, описывающих предметную область проектирования и выраженных утверждениями, интерпретируемыми понятиями данной предметной области. В основе описания различных аспектов проектирования лежат семантические отношения, определяющие структуры объектов предметной области, совокупности свойств, характеризующих эти объекты, степени взаимовлияния этих свойств и т. д. [7]. Представленная в [4] обобщенная модель автоматизированного проектирования послужила теоретической основой для построения единого информационного пространства для автоматизированного проектирования объектов микросистемной техники [8].

Первое, что требуется при разработке предметной онтологии – классифицировать объекты предметной области. Критерий классификации всегда выбирается в зависимости от цели ее проведения. В [9] выполнена классификация объектов МСТ по следующим признакам: характеру формирования выходного сигнала; структурному исполнению; принципу действия; типу используемого сенсора; количеству измеряемых величин и др. На основе классификации объектов МСТ разработана обобщенная структурно-функциональная схема датчика и создана объектная модель данных (на рис. 1 представлены основные ее компоненты). Корнем дерева классов объектной модели является класс Датчик, который представляет самостоятельное микросистемотехническое устройство, контактирующее с объектом наблюдения, собирающее под контролем управляющей ЭВМ информацию о требуемых параметрах объекта наблюдения и представляющее результаты

наблюдений или локально в виде сигналов сигнализатора, или в виде данных, передаваемых на управляющую ЭВМ. Класс Характеристики отражает все характеристики датчика, учитываемые в системе проектирования. Для удобства использования в разных типах датчиков, обладающих различными наборами характеристик, класс разбит на подклассы, объединенные общими категориями. Следующий шаг – формирование пространств онтологий, упорядочивающих все понятия и позволяющих частично автоматизировать начальные процедуры проектирования МСТ-датчиков, связанные с разработкой его концептуальной модели.

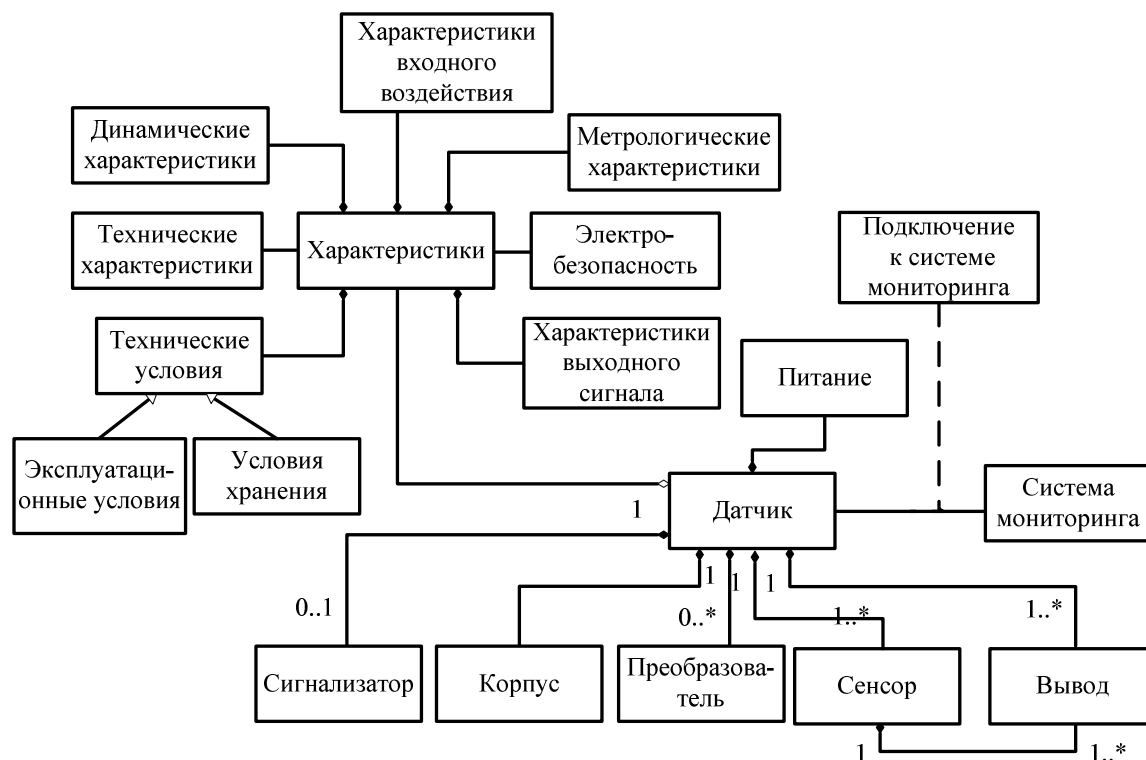


Рис. 1

Целью процесса проектирования является создание проектного решения, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к разрабатываемому объекту и заключенным обычно в исходном задании на проектирование [4], [10]. Эти требования подразделяются:

- на ограничения, определяющие возможность физической и технической реализации объекта;
- на критерии, характеризующие качество полученного проектного решения.

Качество проектных решений, получаемых при автоматизированном проектировании технического объекта, является важнейшим из показателей автоматизированного проектирования. Критерии качества проектных решений определяются специфичным для объекта проектирования набором технико-экономических характеристик. Так, для объектов МСТ можно выделить следующие основные критерии и ограничения: чувствительность; статическая погрешность; динамическая погрешность; время преобразования (отклика); разрешающая способность; порог срабатывания; воспроизводимость; выходной шум; время срабатывания; дрейф сигнала на выходе; стабильность; время готовности; диапазон выходного сигнала, габариты [2].

Решение задачи поискового проектирования зависит от наличия на момент начала проектирования информации о множестве возможных реализаций объекта проектирования W и принципа оптимальности V , по которому с учетом заданных критериев и ограничений из W выделяется подмножество $W_{\text{оп}}$ – множество удовлетворительных (оптимальных) проектных решений. Тогда, в общем случае, процесс проектирования представляет собой задачу принятия решений, определяемую парой $\langle W, V \rangle$ и имеющую решение $W_{\text{оп}} \subseteq W$, полученное с помощью V .

Возможны 3 варианта решения задачи. В первом случае как W , так и V могут быть неизвестны. Тогда процесс проектирования представляет собой задачу принятия проектных решений в самой общей постановке. Информацию, необходимую для формирования исходного множества вариантов типовых решений и для выделения из него удовлетворительных, с некоторой точки зрения, получают в ходе самого процесса проектирования. Если рассматривать САПР как инструмент для организации процесса проектирования, то при данной постановке задачи система должна обеспечить проектировщику средства для формирования W , т. е. множества известных проектных решений, которые принципиально обеспечивают достижение поставленной цели проектирования, а также средства для выделения $W_{\text{оп}}$ из W :

$$F = \{f_j\} (j = \overline{1, m}).$$

Во втором случае на момент начала проектирования может быть известно множество W , но не известен принцип оптимальности V . Процесс проектирования представляет собой в этом случае общую задачу выбора.

И, наконец, в третьем случае – априорно известны как множество всех возможных проектных решений, так и принцип оптимальности. Это общая постановка задачи оптимизации [4], [8]. Следует отметить, что применительно к процессу поискового проектирования общая задача оптимизации в некоторых частных случаях может не предполагать нахождения экстремума одной или нескольких числовых функций [8], т. е. ее смысл состоит в выделении из множества известных проектных решений подмножества «лучших» элементов (в вычислении значения $C_{\text{оп}}(W)$). Под $C_{\text{оп}}$ будем понимать функцию, являющуюся математическим выражением критерия оптимальности и сопоставляющую любому $x \subseteq W$ его часть $C_{\text{оп}}(W)$. Исходя из наличия на момент начала

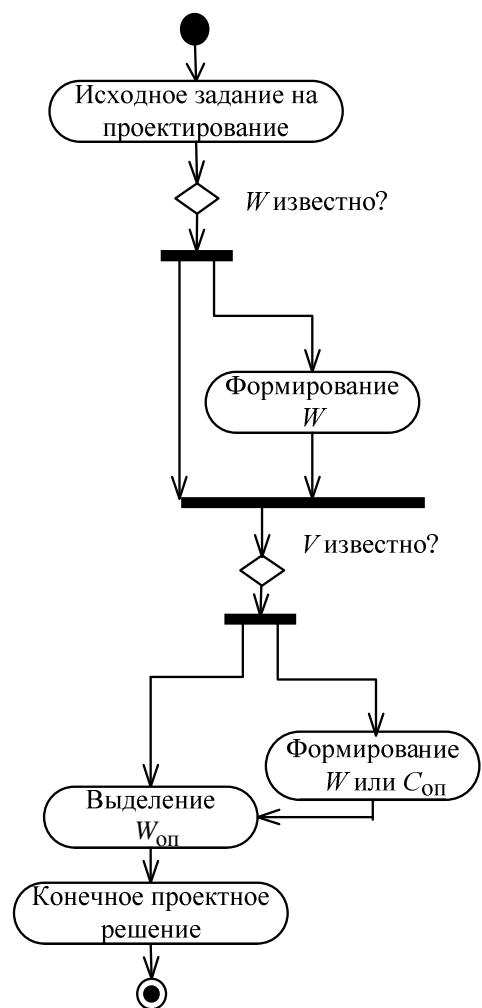


Рис. 2

процесса проектирования информации о W и V , процесс поискового проектирования может быть представлен моделью, показанной на рис. 2. Таким образом, задачи поиска оптимальных проектных решений являются NP-трудными, что исключает возможность их решения точными методами [9]. В связи с этим применяют различные приближенные методы, основанные на тех или иных решающих правилах (эвристиках).

Одним из самых сложных и интеллектуально-емких этапов в проектировании изделий МСТ является этап функционального и структурного проектирования [10]. Этот этап требует от проектировщика достаточно высокой эрудиции, специализированных знаний и опыта. Таким образом, для автоматизации функционального проектирования необходимы специальные инструментальные средства, обеспечивающие информационную и интеллектуальную поддержку поиска типовых проектных решений [9], [10]. Для решения задачи структурно-функционального проектирования в [9], [10] предложено использовать метод прототипа (паттерна проектирования).

На этапе структурного проектирования определяется структура разрабатываемого устройства и проводится его структурный анализ с целью определения возможности решения поставленной задачи в рамках заданной структуры. На этапе функционального проектирования определяются функции узлов, составляющих проектируемое устройство. Наконец, на этапе схемотехнического проектирования решаются вопросы схемного исполнения узлов и связей между ними, проводится анализ и параметрическая оптимизация полученного проектного решения.

Функционально применение САПР как инструмента для поискового проектирования представляется итерационным процессом, состоящим в выполнении проектных процедур $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ во взаимодействии трех множеств: множества моделей объекта проектирования $M = \{M_1, M_2, \dots, M_k\}$, множества операций над моделями $O = \{O_1, O_2, \dots, O_m\}$ и множества критериев проектирования $K = \{K_1, K_2, \dots, K_l\}$.

Множество M включает в себя различные формы моделей проектируемых схем: M_1 – первичное описание функциональной области (требования ТЗ на проектирование); M_2 – исходная модель (алгебраические, дифференциальные и разностные уравнения); $M_3, M_4, \dots, M_j, \dots$ – имитационные, структурные, матричные, списковые, табличные и другие модели; M_k – техническая документация, удовлетворяющая требованиям K_l и предназначенная для реализации конструкторского этапа проектирования объекта МСТ.

Множество O включает такие базовые операции поискового проектирования, как:

O_1 – определение функционального состава проектируемого устройства;

O_2 – структуризация целей проектирования;

O_3 – структуризация критериев проектирования;

O_4 – формирование структуры предпочтений проектировщика;

O_{m-1} – выбор объекта-прототипа;

O_m – модификация описания схемы (модификация объекта-прототипа).

Множество P включает следующие проектные процедуры:

P_1 – генерация исходного множества вариантов структур проектируемого устройства;

P_2 – генерация исходного множества вариантов схемотехнических или конструкторских реализаций устройства;

P_3 – поиск базовых вариантов схемных решений;

P_4 – структурная модификация схемного решения;

P_5, P_6 – параметрическая оптимизация, структурная оптимизация;

P_7, P_8 – параметрический синтез, структурный синтез;

P_9 – анализ схемы (например, в частотной области, во временной области, неустойчивости статического режима и другие виды анализа) [8].

Аналогичный круг понятий вкладывается в множество K . Например, K_1 – требования ТЗ, включая ограничения-равенства $g_i(\mathbf{X})$, $i = \overline{1, n}$, неравенства $h_i(\mathbf{X})$, $i = \overline{1, k}$, накладываемые на составляющие n -мерного вектора \mathbf{X} параметров устройства, и, в общем случае, двусторонние границы параметров компонентов $\mathbf{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $\mathbf{B} = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$, обусловленные технологией их изготовления, а именно:

$$g_i(\mathbf{X}) = 0, \quad i = \overline{1, m},$$

$$\mathbf{A} \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{B}.$$

Весь процесс поискового проектирования в рамках САПР представляется состоящим из проектных процедур $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$. Каждая процедура $P_s = \langle O_j, K_j, M_j \rangle$ переводит модель проектируемой схемы в следующее состояние:

$$\forall M_j \subset M \quad \exists P: M_j \rightarrow M_{j+1},$$

где $M_j \subset M_{j+1}$, $K_j \subset K_{j+1}$, $O_j \subset O_{j+1}$, $j \in [0, n]$, $s \in [0, N]$.

При этом множество M_{j+1} должно учитывать предысторию процесса проектирования, т. е. результаты предыдущих шагов проектирования, относящихся к рассматриваемой схеме. Последнее предполагает представление сложной схемы как объекта иерархической структуры в виде дерева, вершины которого соответствуют выделенным структурным элементам иерархического представления объекта, а ребра указывают на связи между элементами различных уровней. При этом некоторому элементу e_{ij} соответствует множество E_j его составляющих, таких, что $e_{jk} \in E_j$, $k = \overline{1, |E_j|}$. Элемент верхнего уровня иерархического представления объекта e_{oi} соответствует объекту в целом, а концевые вершины дерева – простым объектам, внутренняя структура которых не рассматривается и $E_k = \emptyset$. Такое рекурсивное описание позволяет представить иерархическую структуру сложного объекта с произвольным количеством уровней иерархии.

Обобщенный интерактивный алгоритм состоит из последовательности этапов проектирования, базирующихся на унифицированных поисковых процедурах и операциях:

1. Ввод исходного описания схемы (исходного задания на проектирование).
2. Определение функции устройства в целом и его функционального состава.
3. Структуризация целей и критериев проектирования.
4. Определение структуры предпочтений проектировщика.
5. Выбор исходной схемы-прототипа.
6. Анализ проектного решения.
7. Параметрическая оптимизация.

Проектировщик оценивает промежуточное (или конечное) проектное решение, руководствуясь одной из возможных альтернатив:

- повторить любую из перечисленных проектных процедур;
- закончить проектирование.

Таким образом, множества M , O , K и P должны взаимодействовать в среде интерактивного автоматизированного проектирования.

Представленная в статье модель предметной области является информационной основой автоматизированного проектирования объектов МСТ. В состав комплекса средств автоматизации проектирования входят специальные компоненты, обеспечивающие информационную, организационную и методическую поддержку процесса поиска прототипов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубарев В. Микросистемотехника: инновационное направление развития электроники // Электроника: Наука, Технология и Бизнес. 2010. Вып. 5. С. 98 – 109.
2. Лысенко И. Е. Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005.
3. Лучинин В. В., Мальцев П. П. О термине «Микросистемная техника» в русском и английском языках // Нано- и микросистемная техника. 2006. № 2. С. 39 – 41.
4. Новакова Н. Е. Модели и методы принятия проектных решений в сложноструктурированных предметных областях. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.
5. Новакова Н. Е. Систематизация инженерных знаний в области автоматизированного проектирования на основе онтологического подхода // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 2. С. 32–38.
6. Новакова Н. Е. Онтология управления знаниями в проектной деятельности // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2006. Вып. 3. С. 8–15.
7. Новакова Н. Е. Концептуализация описания сложноструктурированных областей САПР // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 6. С. 46–51.
8. Горячев А. В., Новакова Н. Е. Управление знаниями в проектной деятельности. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012.
9. Горячев А. В. Особенности реализации системы информационной поддержки функционального проектирования объектов микросистемотехники // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе: Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Йошкар-Ола, 2012 / Марийский гос. техн. ун-т. Йошкар-Ола, 2012. Т. 2. С. 130–136.
10. Горячев А. В. Подсистема интеллектуально-информационной поддержки базы данных типовых проектных решений // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. Вып. 2. С. 38–43.

A. V. Goryachev, N. E. Novakova

MODEL OF SUBJECT AREA ARE INFORMATION BASE OF DESIGN PROCESS MICROSYSTEM DEVICE

Subject area model of design process are representative in this paper. Conceptual description method on ontology are described.

CAD system, design process, knowledge, relationship, sensor, transmitter, ontology, microsystem