

УДК 519.65:519.95

Изобретение как метод автоматизации процесса обучения методикам проектирования в семиотической модели САПР

Григорьев А.В.

Донецкий национальный технический университет
grigorie@r5.dgtu.donetsk.ua

Григорьев А.В. Изобретение как метод автоматизации процесса обучения методикам проектирования в семиотической модели САПР. Рассматривается задача адаптации специализированной инструментальной оболочки для автоматизации построения интеллектуальных САПР типичного проектирования на специфику методики проектирования в данной предметной области. Сформулированы основные принципы построения семиотической модели доизобретения новых, имеющих смысл решений в рамках единичного модуля знаний, построенного предварительно путем обучения на основе неполного ряда имеющихся прототипов. Предлагаемая модель позволяет повысить эффективность процессов обучения методикам проектирования технических изделий в любых предметных областях.

Ключевые слова: инструментальная оболочка, концептуальная модель, предметная область, интеллектуальные САПР, модуль знаний, семиотическая модель, доизобретение, обучение, методика проектирования.

Введение.

В классической теории построения систем автоматизации проектирования (САПР) имеется комплекс устоявшихся общих методов построения требуемых САПР в любых целевых предметных областях (ПрОб), куда можно отнести, например [1,2]:

- наличие общепринятой градации уровней представления моделей, не зависящей от ПрОб;

- использование физической семантики объекта проектирования и, как следствие, возможность применять метод аналогий для сведения моделей различных ПрОб к наиболее развитым ПрОб и т.д.

Однако, современные тенденции интеллектуализации САПР в совокупности с высокой динамикой ПрОб [3] ставят с особой остротой проблему построения средств автоматизации построения интеллектуальных САПР (И САПР) как для «новых» ПрОб, так и для «старых» ПрОб, обладающих недостаточно развитыми средствами автоматизации синтеза требуемых решений.

Такое положение делает актуальной задачу автоматизации извлечения знаний для построения баз знаний по существующим методикам проектирования в различных ПрОб.

Ранее в работах автором [4-14] был определен ряд принципов построения специализированной инструментальной оболочки для создания И САПР - мета-эвристической оболочки (МЭО).

Целевой класс И САПР, на создание которых ориентирована МЭО, можно назвать «САПР типичного проектирования», в отличие от класса САПР поискового конструирования, ориентированных на поиск новых, неизвестных ранее решений. Это означает, что методика проектирования в рассматриваемой ПрОб предполагает ограниченное, счетное число возможных решений, создаваемых с помощью ряда иерархических, регулярных структур и функций.

Совокупность методов построения МЭО составляет концептуальную модель предметной области (КМ ПрОб) [4] и построена в форме семиотической модели (СМ) [15,16].

Представление КМ ПрОб в форме СМ позволяет решать задачи, либо не решаемые в иной форме представления, либо - решать их более эффективно, например:

- обеспечить параметрическую проблемную адаптацию МЭО на ПрОб [5];

- обеспечить построение САПР в любых ПрОб как системы взаимосвязанных абстрактных и структурных уровней [7-9];

- построить САПР как экспертную систему, обеспечивающую синтез требуемого решения на основе методов логического вывода [8];

- дать адекватное формальное описание процессам вывода, обучения и т.д.

К главным особенностям МЭО относится:

1) работа с моделями сложных объектов различной степени недоопределенности [7,17,18];

2) ориентация при обучении базы знаний комплекса на ограниченное количество имеющихся в наличии апробированных на практике моделей сложных объектов данной ПрОб.

Трудоемкость процесса ввода множества всех апробированных решений (моделей) сложных объектов и, как следствие, ограниченность числа имеющихся в наличии И САПР моделей объектов предполагает необходимость ускорения введения известных моделей.

Предлагается путь автоматизации синтеза новых для И САПР, но «старых», т.е. - известных в практике решений на основе множества ранее заданных с последующим выбором имеющих смысл решений с целью ускорить их ввод в базу знаний САПР.

Специфика подхода заключается в том, что при этом допускается синтез решений, отличающихся степенью определенности.

Проблема синтеза новых решений рассматривалась в рамках САПР-овских методов поискового конструирования, «классических» методов изобретения, относящихся к теории инженерного творчества и «машинных» методов изобретения, например, в алгоритме решения изобретательских задач [19,20], «интеллектуальных» методов изобретения, например, в генетических алгоритмах [21] и т.д. Во всех подходах в той или иной форме производится отсеечение вариантов решений, не удовлетворяющих некоторым критериям.

Специфика предлагаемой постановки задачи состоит в том, что отыскиваются не новые, неизвестные ранее решения, а – старые, известные решения, но по различным причинам не попавшие в обучающую выборку при создании модуля знаний путем обучения по примерам (прототипам). Такая задача может быть названа «дообучением».

Специфика постановки задачи влечет и специфические методы решения задачи.

В работе [22] был определен метод организация пространства поиска решений в МЭО. Отличие предлагаемого подхода поиска решения пространстве состояния определяется спецификой постановки задачи и состоит в:

1) Наличии адаптивной системы технологических, семантических и достоверностных ограничений для новых решений;

2) Особенности применяемой концептуальной модели ПрОб (КМ ПрОб);

3) Задании признаков объектов (генотипа) как идентификаторов подмножества структурных элементов, явно определяющих его структуру (т.е. фенотип);

4) Введении различной степени недоопределенности структур объектов.

Исходя из этого, в структуру МЭО включены следующие элементы:

1) *Аппарат изобретения* [23]. Предназначен для обеспечения создания новых объектов некоторого заданного типа.

2) *Система оценки и ограничения сложности моделей* [10-12]. Предназначена для оценки и ограничения сложности объектов для любых предметных областей (ПрОб) вводимых любым способом: как при вводе апробированных (достоверных) объектов из проблемно-ориентированных САПР (П САПР) [8], как при прямом вводе моделей пользователем, так и при синтезе (изобретении) моделей объектов в аппарате изобретения. Запрещает рассмотрение или требует преобразования не имеющих смысла или слишком сложных для анализа данным пользователем объектов.

3) *Адаптивная система ограничений на сложность при синтезе новых решений в САПР* [24]. Представляет собой технологию отсеечения из пространства поиска решений, не имеющих смысла или слишком сложных для понимания пользователем. Схема технологии соответствует специфике выбранной формы представления пространства поиска решений, построенного, в свою очередь, исходя из следующих особенностей постановки задачи:

- целью поиска решений является автоматизация синтеза возможных известных решений с задачей ускорить их ввод в базу знаний САПР;

- количества имеющихся в наличии апробированных на практике моделей сложных объектов для данной предметной области ограничено.

К достоинству предлагаемой технологии можно отнести ее полноту, гибкостью и способностью адаптироваться к уровню квалификации пользователя, а так же - к назначению САПР.

Недостатком предложенной технологии является отсутствие полноценного ее формального описания в рамках общей семиотической модели [15-16] (СМ) САПР, частью которой она является.

Представление данной технологии в форме СМ позволит:

- формально и полноценно описать комплекс механизмов извлечения знаний в интеллектуальных САПР типичного проектирования;

- обеспечить построение полного комплекса программных средств описание для реализации целевой ИК.

Целью данной работы является формальное определение предлагаемой технологии, т.е. - аппарата изобретения в комплексе с адаптивной системой ограничений, в форме СМ.

1. Общий метод представления знаний в КМ ПрОб МЭО

Рассмотрим семантику и формальную форму представления знаний о методиках проектирования в МЭО.

1.1. Семиотическая модель как метод формального представления знаний в МЭО.

Использование СМ для представления знаний позволяет формально описать требуемую семантику метода представления знаний в интеллектуальном САПР (см. выше).

Опишем структуру СМ [15], как общего инструмента представления знаний в ИК.

СМ представляет собой открытую формальную систему и имеет форму восьмерки:

$F = \langle T, C, A, P, r, b, g, d \rangle$, где:

T - множество базовых элементов системы, на которых строятся все выражения в **F** (сигнатура);

C - множество правил построения синтаксически правильных формул (грамматика);

A - множество аксиом **F**, как подмножество **C** (аксиоматика);

P - множество правил вывода, или семантические правила, (позволяющие получать из аксиом новые синтаксически правильные формулы, которым можно приписывать статус истинности);

r, b, g, d - правила изменения, соответственно для **T, C, A** и **P**.

Процедуры:

P1 - определения принадлежности данного элемента множеству **T**;

P2 - идентификации различия элементов множества **T**;

P3 - определения синтаксической корректности элементов, построенных посредством правил **C**.

P4 - определения семантической корректности элементов, построенных посредством правил **C** с учетом множества аксиом **A**.

Процедуры **P1, P2** и **P3** - конструктивны, т.е. должны завершаться через определенное число шагов.

Конструктивная СМ является **разрешимой**, если существует конструктивная процедура **P4**, дающая однозначный ответ на вопрос - является ли данное синтаксически

корректное описание семантически верным (т.е. сводимо к аксиомам).

Соответствующее множество семантически верных выражений обозначается как **S**.

Т.о., построить КМ ПрОб как СМ означает реализовать все перечисленные компоненты СМ с тем, что бы отразить перечисленные выше принципы и подходы.

1.2. Семантика метода представления знаний в МЭО.

Рассмотрим вкратце семантику, т.е. принципы, на которых строится общий метод представления знаний в МЭО.

Перечень принципов следующий:

- рассматривается некоторая «общая» ПрОб – как методика проектирования структурной модели некоторого типа изделия, включая все его внутренние подблоки до некоторого базового уровня;

- имеется «единичная» ПрОб определенного иерархического уровня – единичный тип структурного блока, представленный в форме единичного модуля знаний;

- модуль знаний рассматривается как механизм для решения задачи синтеза (вычленения из множества возможных решений) требуемого прототипа структуры по техническому заданию (ТЗ), т.е. - по структурным особенностям блока, принадлежащего к данному типу;

- любой прототип представляет собой совокупность трех компонентов, а именно - внешней границы как совокупности внешних полюсов блока, внутренней границы как совокупности подблоков, включая их внешние полюса, и - внутренней среды блока как совокупности структурных связей подблоков;

- к структурным особенностям (к ТЗ) относятся: особенности - внешней границы, внутренней границы, внутренней среды;

- единичный прототип может представлять собой по форме только собственно внутреннюю среду, т.е. - множество структурных внутренних связей; причина - внутренняя среда прототипа позволяет полноценно доопределить (синтезировать) собственно прототип в целом, т.е.: совокупность внешних полюсов данного блока-прототипа для внешних структурных связей; совокупность внутренних подблоков, включая их тип (тип модуля знаний), состав внешних полюсов подблоков и прототип их прототипы их внешних границ и - прототипы внутренних структур;

- представление модуля знаний как атрибутного И-ИЛИ-дерева (порождающей грамматики) структурных связей позволяет

синтезировать единичный набор внутренних связей требуемого прототипа, а затем - доопределить собственно прототип;

- синтез выполняется по ИЛИ-узлам И-ИЛИ-дерева, как набору структурных отличий (ТЗ) требуемого прототипа;

- модуль знаний как атрибутивное И-ИЛИ-дерево множества структурных связей внутренней среды блока представляет собой единичную формальную модель в рамках СМ САПР в данной «общей» ПрОб.

1.3. Специфика «базового» метода построения модуля знаний при обучении по прототипам в рамках СМ

Процесс обучения как инструмент создания базы знаний по методике проектирования может проводиться в рамках различных моделей эксперта в ПрОб, т.е. – моделей инженера-проектировщика, играющего роль инженера по знаниям. В рамках предлагаемой КМ ПрОб рассматривается три модели эксперта:

1) Эксперт, не способен самостоятельно представить методику проектирования в некоторой единичной ПрОб как совокупность правил (продукций), и способен лишь задать системе ряд примеров – прототипов, с тем, чтобы система автоматически сформировала данный набор правил путем обучения. Формальная модель модуля знаний (И-ИЛИ-дерево с отношениями совместности-несовместности) строится автоматически. Собственно правила вывода строятся автоматически («глупый» эксперт).

2) Эксперт способен явно задать формальную модель модуля знаний как И-ИЛИ-дерево с явными отношениями совместности-несовместности. Правила вывода строятся в этом случае так же автоматически («средний» эксперт).

3) Эксперт способен задать методику проектирования как набор упрощенных правил. И-ИЛИ-дерево и отношения совместности-несовместности в этом случае являются частью тех или иных правил или продукций, т.е. – распределены по совокупности продукций («умный» эксперт).

Как в случае низко-квалифицированного («глупого») эксперта, так и в случае «среднего» эксперта система располагает И-ИЛИ-деревом с определенными над ним отношениями совместности-несовместности (аксиоматикой).

В этом случае семантика обучения одна и та же – изменение сигнатуры, грамматики и аксиоматики в И-ИЛИ-дереве.

2. СМ единичного модуля знаний, построенного в режиме низко-квалифицированного эксперта.

Рассмотрим детальнее отражение данной семантики в рамках СМ единичного модуля знаний в режиме низко-квалифицированного («глупого») эксперта.

2.1. Сигнатура и грамматика СМ

Грамматика представляет собой описание множества возможных структур некоторого типа блока, имеющего структуру с вышеизложенной семантикой.

В соответствии с работой [8] кратко изложим метод построения грамматики в МЭО.

В соответствии с принятой семантикой грамматическое описание типа блока включает описания внешней границы, внутренней границы и - внутренней среды блока как совокупности структурных связей подблоков (далее просто связь).

Формально грамматика представляет собой И-ИЛИ-дерево, т.е. – граф без циклов. Синтаксис предлагаемых выражений в грамматике построен на синтаксисе языка ДеСиМ инструментальной оболочки для построения интеллектуальных САПР вычислительной техники «ИнтерНаМ» [].

Остановимся детальнее на изложении грамматики внутренней среды, как главного инструмента, подвергаемого дополнительному исследованию.

Связь определяется в терминах работы [22] и представляет собой отношение эквивалентности значений двух взаимосвязанных свойств, принадлежащих границам двух структурных (функциональных) блоков. В упрощенном виде описание связи может быть задано следующей грамматикой G:

идентификатор_блока1 :

идентификатор_свойства1

↔

идентификатор_блока2 :

идентификатор_свойства2

где:

1) *идентификатор_блока* имеет вид *внешний_идентификатор_блока* (*идентификатор_структуры_блока*), или в более развернутом виде *тип_блока_N. массив_блоков_K. номер_M_в массиве (прототип_V)*;

тут *прототип* - идентификатор конкретной структуры блока, относящегося к данному типу блоков;

2) *идентификатор_свойства* имеет вид сходный вид, т.е.

внешний_идентификатор_свойства (*идентификатор_структуры_свойства*),

или в более развернутом виде
 $тип_свойства_N \cdot массив_свойств_K \cdot$
 $номер_M_в_массиве (значение_V).$

3) знак " $\leftrightarrow$ " - задает отношение эквивалентности значений свойств.

КМ ПрОб, принятая в МЭО [25], предполагает наличие явно введенной внутренней границы блока (включающей как подмножество и внешнюю границу блока), что позволяет рассматривать внутреннюю среду блока как замкнутый одноуровневый набор связей. Внутренняя среда некоторого блока, как совокупность связей определяет выбор всех отношений нижележащих уровней, т.е.: внутренних блоков, их свойств, границ блоков как совокупностей свойств, дискретных функций и т.д. Исходя из принципа, что никакое свойство блока не существует при отсутствии соответствующей связи, путем анализа совокупности связей, могут быть построены списки блоков, свойств, сформированы границы блоков и т.д. Предполагается, что прочие, не указанные в связях свойства и блоки, возможно существуют внутри явно заданных неопределенностей, входящих во все списки - блоков, свойств границ блоков, связей и т.д.

Исходя из этого, можно принять следующую трактовку базовых компонент СМ:

- сигнатура Т есть базовый (терминальный) набор символов, входящих в грамматику, в данном случае – набор идентификаторов (абсолютных номеров) связей, составляющих внутреннюю среду блока;

- грамматика С есть совокупность И-, а так же - ИЛИ-синтермов, базовыми символами которых являются номера связей; грамматика лишена циклов и представляет собой И-ИЛИ-дерево.

Соответствующая процедура П1 есть проверка принадлежности данной связи к списку уже имеющихся.

Процедура П2 есть проверка эквивалентности описаний единичных двух связей, имеющих вышеописанную грамматику G. Процедура позволяет выполнить идентификацию принадлежности любой новой связи к сигнатуре в рамках процедуры П1.

Процедура П3 есть процедура синтаксического анализа (разбора) некоторого заданного текста (списка связей) с целью определить его принадлежность к грамматике С.

2.2. Аксиоматика, факты и правила вывода в СМ

Особенностью предлагаемой СМ является явная идентификация множества семантически верных выражений грамматики, в данном случае это - явная идентификация (номер) прототипа-решения, имеющегося в базе знаний. Прокомментируем понятие факта,

аксиоматики и правил вывода в предлагаемой СМ.

2.2.1. Факты

Перечислим основные принципы трактовки понятия «факт» в предлагаемой СМ:

- факт, по определению, есть истинное выражение, характеризующее искомое решение;
- совокупность фактов задается в начале и является исходной точкой процесса вывода;
- факты определяют признаки требуемого решения;

- совокупность фактов есть набор признаков искомых прототипов, т.е. рассматривается как техническое задание на требуемое решение;

- т.о., техническое задание есть совокупность подмножества альтернатив того или иного подмножества ИЛИ-узлов, имеющихся в данной грамматике;

- задать единичный шаг технического задания означает сузить набор альтернатив некоторого избранного ИЛИ-узла грамматики.

2.2.2. Аксиоматика

Аксиома А есть, по определению, предикат, истинный всегда в рамках данной грамматики. Семантика единичной аксиомы такова: некоторые две отдельные альтернативы двух ИЛИ-узлов совместимы между собой, поскольку имеется прототип, где они существуют одновременно.

Т.о., логически верно (истинно) выражение:

Контекст1 & (ИЛИ-Синтем_1 = Альтернатива_K1)

&

Контекст2 & (ИЛИ-Синтем_2 = Альтернатива_K2)

Данный предикат трактуется как отношение совместности.

Отрицание данного предиката есть отношение несовместности.

Каждый прототип представлен рядом аксиом, задающих совместные признаки данного прототипа в рамках грамматики.

Совокупность всех таких предикатов и есть аксиоматика А.

2.2.3. Правила вывода П

Целевой предикат вывода или – цель вывода в данном случае есть начальное И-ИЛИ-дерево. Данное И-ИЛИ-дерево сопровождается исходным списком всех аксиом, которые пока находятся в списке актуальных аксиом. Список неактуальных аксиом изначально пуст.

Задание некоторого факта есть, с одной стороны, утверждение, что некоторое подмножество альтернатив данного ИЛИ-синтерма истинно и, с другой стороны, утверждение, что оставшиеся не востребуемым подмножество альтернатив

данного ИЛИ-синтерма – ложно. Соответствующее И-ИЛИ-дерево может трансформироваться (усекаться), что бы содержать либо только истинные альтернативы, либо – пока еще не рассмотренные.

Приведение выполняется с помощью аксиом, т.е. отношений совместности. Удаление некоторой альтернативы данного ИЛИ-синтерма из списка истинных приводит к удалению из рассмотрения всех аксиом, связанных с данной альтернативой как истинной. Соответствующие аксиомы переводятся из списка актуальных в список не актуальных.

Совокупность правил вывода П есть механизм приведения исходной грамматики к заданному набору факторов, т.е., фактически, это – механизм сужения грамматики до подмножества семантически верных решений, соответствующих заданному набору фактов.

Исключение некоторой альтернативы из данного ИЛИ-синтерма следствие задания единичного факта приводит к тому, что некоторые альтернативы в других ИЛИ-синтермах лишаются поддержки отношений совместности, связанных с удаленными альтернативами. Если данная альтернатива не имеет поддержки ни одной из оставшихся в рассмотрении аксиом (отношений совместности), то это означает, что она не совместна ни с кем, т.е. – несовместна вообще (не существует, ложна).

Последнее выражение есть семантика правила вывода П в СМ – удаление альтернатив, не входящих в состав признаков прототипов, заданных набором фактов. Процедура П4 осуществляет отработку соответствующего правила из П в необходимый момент времени.

3. Принципы «базового» метода построения модуля знаний при обучении по прототипам в рамках СМ

Перечислим ряд принципов, применяемых при обучении по множеству прототипов в случае построения единичного модуля знаний в режиме низко-квалифицированного эксперта:

- обучение производится по множеству известных прототипов;
- число прототипов ограничено и счетно;
- единичный шаг обучения – ввод нового прототипа;
- обучение обеспечивается инструментом – теоретико-множественными операциями (ТМО) [26-28] над атрибутивными грамматиками;
- обучение автоматически формирует модуль знаний как атрибутивное И-ИЛИ-дерево множества структурных связей внутренней среды блока;
- формальная модель модуля знаний (И-ИЛИ-дерево) видоизменяется после единичного шага обучения; каждый шаг обучения влечет изменение сигнатуры, грамматики, аксиоматики и, как следствие, увеличение числа семантически верных выражений, т.е. – числа тех же прототипов;
- обучение обеспечивает СМ; в этом случае для смежных формальных моделей САПР строится система отношений достижимости; соответственно, рассматриваются отношения достижимости по сигнатуре, грамматике и аксиоматике при неизменных правилах вывода (см. таблицу 1).

Таблица 1 - Тип отношения достижимости в СМ, примененный в рамках задачи создания модуля знаний путем обучения по прототипам.

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
Достижимость между формальными моделями по множеству семантически верных выражений (прототипы из П САПР в ИК): - достижимость г по сигнатуре Т; - достижимость b по грамматике С; - достижимость g по аксиоматике А;	Правила вывода П; Процедуры П1, П2, П3, П4;	Сигнатура Т; Грамматика С; Аксиоматика А;	1) Интерфейс «П САПР <-> Интеллектуальная надстройка»; 2) Обучение (дообучение) на базе ТМО над атрибутивными грамматиками;

Отношение достижимости подобного типа в предлагаемой СМ трактуется как «горизонтальное», т.е. – как переход между

формальными моделями в рамках одного и того же структурного модельного уровня, принадлежащего некоторому фиксированному абстрактному уровню.

Отношения подобного рода имеются в определении «классической» СМ

4. Специфика «вторичного» метода доизобретения новых прототипов при обучении по существующим прототипам в рамках СМ

Предлагается следующий новый подход для повышения эффективности процесса обучения базы знаний по прототипам, а именно - за счет доизобретения семантически верных прототипов после основного этапа обучения, а именно - после «обобщения» введенного множества описаний прототипов, имеющих в наличии.

Процесс доизобретения как инструмент дообучения базы знаний методике проектирования так же может проводиться в рамках различных моделей эксперта в ПрОб, т.е. – моделей инженера-проектировщика, играющего роль инженера по знаниям.

Как в случае «глупого» эксперта, так и в случае «среднего» эксперта система располагает И-ИЛИ-деревом с определенными над ним отношениями совместности-несовместности (аксиоматикой). В этом случае семантика «доизобретения» одна и та же – изменение аксиоматики в И-ИЛИ-дереве.

В случае «умного» эксперта процесс доизобретения подчиняется тем же правилам, но не так тривиален и требует отдельного рассмотрения.

Рассмотрим для примера процесс «доизобретения» для «глупого» эксперта.

Перечислим ряд принципов, применяемых при «доизобретении» в этом случае:

- предлагается путь повышения эффективности процесса обучения за счет автоматического дообучения после «основного» обучения;

- суть подхода – это изменение состава отношений совместности-несовместности, заданных в текущей аксиоматике, для увеличения числа семантически верных выражений, формируемых в данной формальной модели, но при неизменных сигнатуре и грамматике;

- аксиоматика трактуется в данной СМ как отношение совместности – несовместности множества альтернатив для ИЛИ-узлов на имеющейся грамматике (И-ИЛИ-дереве); аксиоматика обеспечивает вычленение семантически верных прототипов в рамках заданных сигнатуры и грамматики;

- аксиоматику необходимо изменять, чтобы обеспечить появление новых семантически верных выражений; т.о., дообучение есть отношение достижимости смежных формальных моделей в рамках СМ по аксиоматике, т.е. – отношение *g*;

- автоматизация обучения – это расширение числа допустимых прототипов за счет имеющих смысл прототипов в рамках тех же сигнатуры и грамматики;

- дообучение может выполняться как на каждом шаге обучения после ввода единичного прототипа, так и после ввода комплекта имеющихся прототипов;

- дообучение представляет собой поиск новых семантически верных решений, т.е. прототипов, в рамках имеющегося множества синтаксически верных решений, заданных грамматикой, т.е. – И-ИЛИ-деревом;

- специфика изобретения – ограниченное пространство поиска решений; возможность автоматизации задачи изобретения путем задания множества параметров отсека «плохих» решений.

Суть предлагаемой модели «доизобретения» с точки зрения СМ представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Типы отношений достижимости в СМ, примененный в рамках задачи модификации модуля знаний путем доизобретения новых прототипов.

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
Достижимость между формальными моделями по множеству семантически верных выражений (поиск новых прототипов в грамматике); - достижимость по множеству семантически верных решений (нет аналога в «классической» СМ);	Сигнатура Т; Грамматика С; Правила вывода П; Процедуры П1, П2, П3, П4;	Множество семантически верных решения S;	Доизобретение: 1) Поиск новых семантически верных выражений в рамках множества синтаксически верных выражений С;
Достижимость между формальными моделями по	Сигнатура Т; Грамматика С;	Аксиоматика А;	Редактирование множества аксиом А с целью

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
включению найденного нового подмножества семантически верных выражений в СМ: - достижимость g по аксиоматике A ;	Правила вывода Π ; Процедуры Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π_4 ;		обеспечить включение найденного нового подмножества прототипов (дообучение на базе ТМО над атрибутными грамматиками).

Отношение достижимости подобного типа в СМ так же может трактоваться как «горизонтальное», т.е. – как переход между формальными моделями в рамках одного и того же структурного модельного уровня, принадлежащего некоторому фиксированному абстрактному уровню.

При этом:

- переход по множеству семантически верных решений аналога в «классической» СМ не имеет;

- полученная т.о. новая формальная модель является не корректной, т.е. – требует доопределения;

- доопределение выполняется включением данных прототипов аксиоматику A СМ.

В этом случае повторное обучение может также проводится на базе ТМО над атрибутными грамматиками, но не с целью ввести описание нового прототипа в грамматику S , так как соответствующий прототип уже имеется в грамматике, а - с целью изменение атрибутов грамматики. Таким образом вводится добавочно подсистема аксиом, делающих возможным существование (или вычленения) данного прототипа в грамматике

5. Детальное изложение предлагаемого метода генерации гипотез

Цель генерации гипотез - синтез новых для системы, но известных пользователю решений, принадлежащих к некоторому общему с исходным прототипом типу блоков. Тип блоков понимается в смысле положений системного анализа [14], т.е. как агрегация (обобщение) ряда прототипов, имеющих ряд общих (системообразующих) признаков и ряд отличных (факультативных) признаков (данном случае - структурных признаков).

Предлагаемый путь генерации гипотез при обучении:

- выполняются ТМО - объединение, пересечение, дополнение и разность - над имеющимися прототипами как совокупностями "обобщенных" связей внутренней среды с целью порождения частей прототипов как результата ТМО; различаются *часть* среды и

фрагмент, как произвольное подмножество части;

- новый прототип-гипотеза строится в виде комбинации фрагментов из частей прототипов, как наиболее "достоверных" строительных единиц новых прототипов; причина такого подхода - данные связи уже применялись на практике, т.е. имеют степень достоверности большую 0; связи, не имевшиеся в прототипах, не рассматриваются вовсе, т.к. их достоверность недоказуема и принимается равной 0.

При формировании множества "обобщенных" связей как эквивалентные рассматриваются связи, имеющие одинаковые внешние идентификаторы обеих блоков и обеих свойств. Т.е. "обобщенная" связь получают вид, безотносительный к идентификаторам прототипов блоков и значениям свойств. Т.е. связью считается выражение:

$$\text{внешний_идентификатор_блока1(*)}.\text{внешний_идентификатор_свойства1(*)} \leftrightarrow$$

$$\text{внешний_идентификатор_блока2(*)}.\text{внешний_идентификатор_свойства2(*)}.$$

Тут знак "*" - задает произвольные идентификаторы структур блоков и свойств.

Пусть имеется некоторое множество прототипов, входящих в тип блоков A :

$$A' = (P_1 \vee P_2 \vee P_3).$$

На рисунке 1 показана обобщенная схема типа A , построенная в рамках предлагаемой концептуальной модели.

Результат выполнения теоретико-множественных операций над совокупностями "обобщенных" связей (далее - просто связей), образующими данные прототипы, составляет ряд подмножеств $@j$, определяющих некоторые части внутренней среды прототипов.

При этом:

$$P_1 = @1 \& @2; P_2 = @1 \& @2 \& @3;$$

$$P_3 = @2 \& @3;$$

$$@1 = 5; @2 = 1 \& 2 \& 3 \& 4;$$

$$@3 = 6 \& 7 \& 8 \& 9 \& 10.$$

Тут 1,2... - сквозные номера оригинальных связей, определенные в пределах всего типа блоков. Преобразуем множество прототипов A к форме И-ИЛИ-дерева:

$$A' = (P_1 \vee P_2 \vee P_3) = @2 \& H_1; H_1 = @1 \vee @3 \vee H_2; H_2 = @1 \& @3.$$

На рисунке 2 изображено полученное И-ИЛИ-дерево. В скобках показаны номера прототипов, входящих в данную вершину, числами заданы номера связей, стрелками показан порядок декомпозиции узлов.

Номера прототипов (атрибуты) в вершинах неявно задают продукционные зависимости для ИЛИ-узлов, используемые при выводе с целью синтеза (выбора) необходимых прототипов в САПР. Семантика зависимостей такова: "если в данном ИЛИ-синтерме (узле) удалить вариант (признак), включающий прототип К, то прототип К должен быть удален во всех прочих узлах".

Данное И-ИЛИ-дерево с определенными над ним продукционными зависимостями, составляет динамическую базу данных. Результатом ограничений на каждом этапе является все более суженное "полное" И-ИЛИ-дерево. Детально механизм вывода описан в [8]. Синтезируемые таким образом решения принадлежат к множеству семантически верных выражений, т.е. – множества тех же исходных прототипов, применяемых при обучении. Все прочие решения – прототипы запрещены, т.е. невозможны.

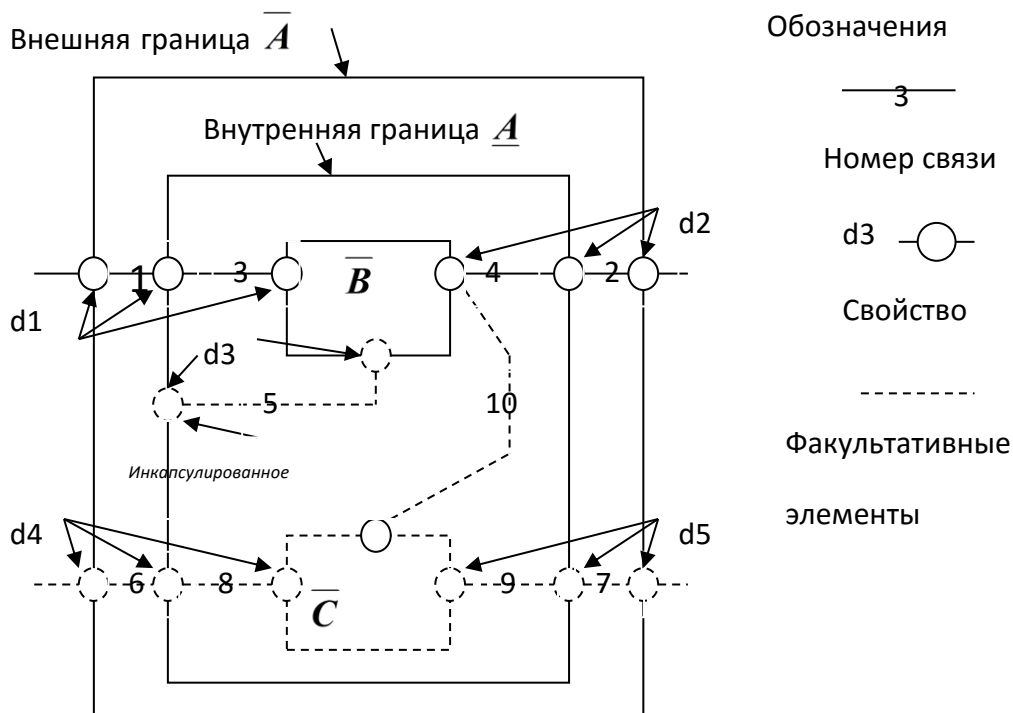


Рисунок 1 - Обобщенная схема типа А

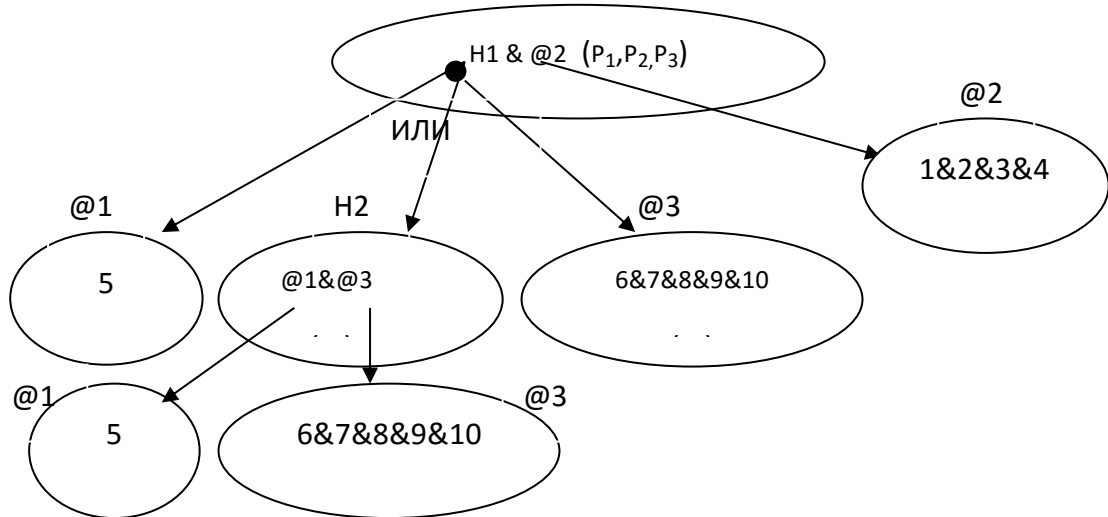


Рисунок 2 - Форма И-ИЛИ-дерева

С учетом названных зависимостей A' может быть определен как идентификатор модуля знаний о структуре внутренней среды объектов типа A . На рисунке 3 представлен пример синтеза структуры нового блока P_H на основе новой комбинации фрагментов:

$$P_H = @5 \& @1 = (2\&4)\&(5).$$

Общий подход к синтезу гипотез предполагает, что можно разрешить как семантически верные и все прочие решения, возможные в исходной грамматике, что достигается полным отсутствием продукций, ранее определенных над грамматикой, но - с применением впоследствии механизма отсечения «не подходящих», не верных решений. Такой путь предполагает, что в этом случае автоматически формируется декартово произведению всех составляющих всех ИЛИ-

синтермов, входящих в И-ИЛИ-дерево. Увеличение числа вводимых прототипов ведет к возникновению все большего числа частей блоков и фрагментов.

Можно сделать выводы, что:

1. Количество вариантов сред чрезвычайно большое и пользователь не в состоянии их проверить их на достоверность;
2. Нужны ограничения технологического и семантического характера, способные резко снизить число потенциально возникающих прототипов при присоединении нового прототипа, отсекая решения, не имеющие смысл и решения, проверить адекватность которых для данного пользователя не представляется возможным.

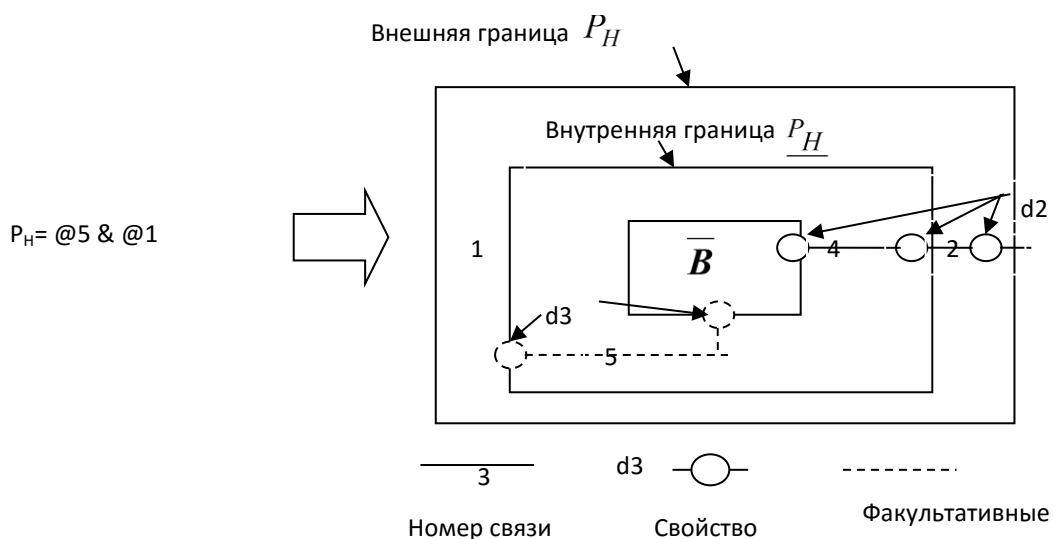


Рисунок 3 - Пример синтеза структуры по совокупности связей

6. Предлагаемая технологии отбраковки гипотез в МЭО

Для решения поставленной задачи предлагается технология отсеечения слишком сложных и не имеющих смысл решений, схема которой показана на рисунке 4. На данном рисунке показан общий состав ограничений, схему их взаимодействия, определена роль пользователя в процессе обучения и место проблемно-ориентированных САПР как источников достоверных (проверенных на практике) решений [24]. Рассмотрим назначение и способ построение каждого уровня ограничения.

6.1. Технологические ограничения при генерации гипотез

Предлагается система технологических ограничений Т1-Т4 при формировании новых, синтаксически верных описаний прототипов.

Автоматическое применение этих ограничений составляет часть методики обучения, независимую от желания пользователя, но адаптируемую к его способности понимать модели некоторой сложности. И-ИЛИ-дерево, составляющее результат выполнения данных ограничений может трактоваться как множество

синтаксически верных выражений семиотической модели [15].

Т1) Удаление "старых" прототипов из новой совокупности.

При анализе возникающих прототипов необходимо различать "старые" и "новые" прототипы. Набор "новых" прототипов, которые могут быть сформированы только из элементов "старого" набора частей, не должен рассматриваться при добавлении нового прототипа, т.к. старые прототипы уже учтены в ранее рассмотренном множестве прототипов. Имеет смысл рассматривать только "новые" комбинации связей.

Т2) Удаление слишком "сложных" для понимания прототипов.

Т.к. все "исходные" прототипы по определению принимаются ограниченными [12] по когнитивной сложности (КС), исходя из способности пользователя понимать модели, то и все новые прототипы так же не должны превышать данный предел КС.

Т.е. новые прототипы, превышающих по уровню КС предел, приемлемый для данного пользователя, должны по выбору пользователя:

- либо удаляться из дальнейшего рассмотрения;
- либо преобразовываться автоматически к форме представления, имеющей допустимую КС.

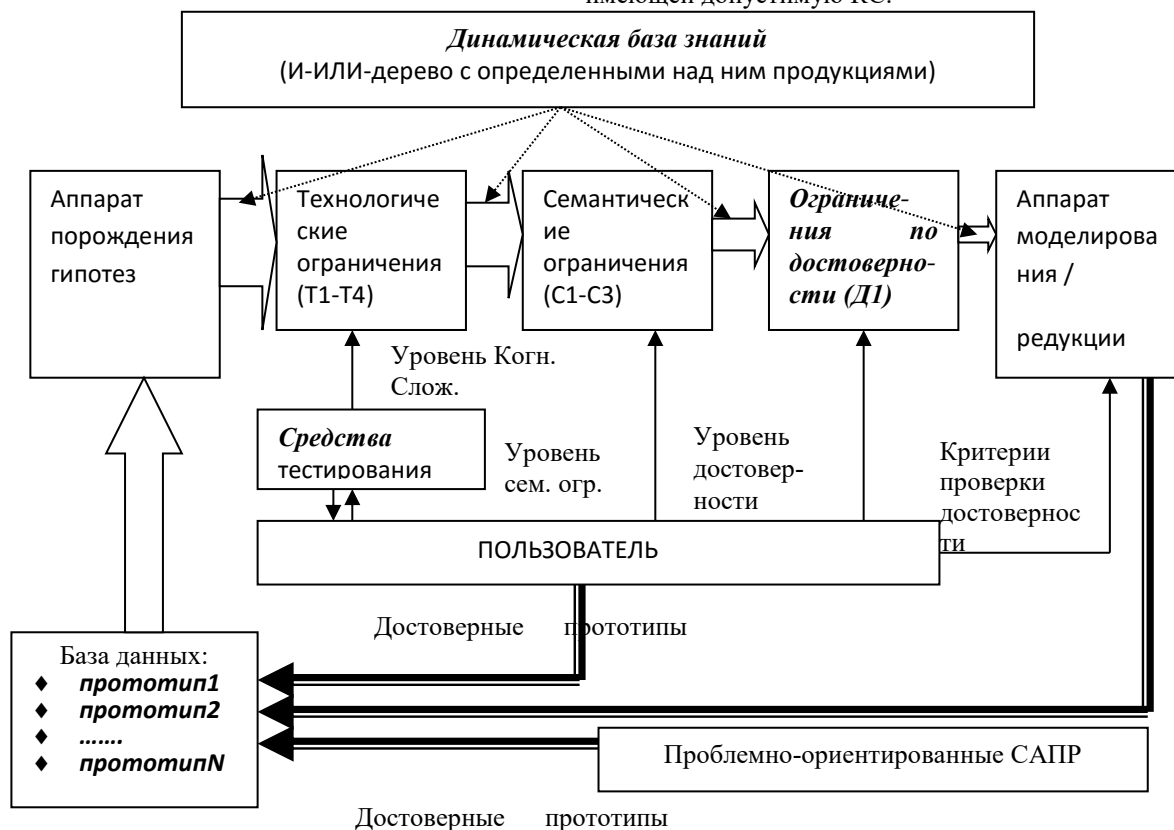


Рисунок 4 - Схема технологии синтеза и отбора гипотез в МЭО

Т3) Контроль наличия
"системообразующего" набора связей.

Некоторая совокупность связей в любом прототипе относится к системообразующим и является общей для всех прототипов, принадлежащих данному типу блоков А. Системообразующий набор связей для данной внешней или внутренней среды блока характеризуется наличием в ней связей, покрывающих в своей совокупности набор составляющих модели, необходимых как общая часть для систем данного уровня обобщения (тип, библиотека, ПрОб и т.д.). В эту общую часть включаются: свойства границы блока; свойства подблоков; связи границы блока с подблоками и связи между подблоками.

Т4) Проверка И-ИЛИ-дерева на условия совместимости и несовместимости отдельных фрагментов.

Возможны ситуации, когда некоторые фрагменты или части сред, не относящиеся к системообразующим:

1) могут существовать только во взаимосвязи с другими некоторыми частями или фрагментами (по И);

2) могут существовать только как альтернативы к некоторым другим частями или фрагментами (исключающее ИЛИ);

3) не имеют смысла в любой комбинации частей.

В этом случае пользователь должен иметь возможность вмешаться в процесс образования новых прототипов, указывая явно все перечисленные условия для ряда частей.

В таблице 3 для рассмотренного выше примера обобщенной структуры показан состав фрагментов, содержащих связи, существующие только в комплексе.

Таблица 3. Фрагменты, состоящие из совместно используемых связей.

<i>Исходные части</i>	<i>Фрагменты</i>	<i>Состав фрагмента</i>
@2	@4	1,3
-'	@5	2,4
@3	@6	6,8
-'	@7	7,9

6.2. Семантические ограничения при генерации гипотез

Семантические (смысловые) ограничения (СО) при генерации гипотез призваны сузить количество новых прототипов-гипотез, возникших при обучении, исходя из степени неопределенности допускаемой пользователем для "новых" прототипов. Объектом приложения

СО является исходная грамматика, суженная введением технологических ограничений.

Предлагается система ограничений "С1-С3" соответствует различной степени недоопределенности, допускаемой в "новых" прототипах и определяющей степень сужения количества гипотез.

Пользователь, исходя из уровня своей компетентности и желания, выбирает один из уровней от С1 до С3 таким образом, что бы с возрастанием номера ставить перед собой более сложные задачи по семантической оценке вновь полученных прототипов.

Состав ограничений может интерпретироваться как совокупность правил вывода СМ [15].

С1) Полное отсутствие
недоопределенностей в прототипах.

В этом случае совокупность связей полностью определяет среду. С1 является наиболее жестким семантическим ограничением. Кроме введенных базовых "старых" прототипов никакие другие не имеют право на существование. Данное ограничение предполагает, что при склеивании прототипов автоматически формируются семантические зависимости, принадлежащие декартовому произведению вариантов, но призванные обеспечить существование только тех прототипов, которые были ранее введены в качестве примеров.

С2) Недоопределенность в составе
связей при наличии в статической базе данных библиотек идентифицированных подструктур.

С2 является менее жестким семантическим ограничением, чем С1. Наряду с совокупностью связей, как средой, для автоматизации синтеза дополнительно используется статическая база данных, включающая кроме набора исходных достоверных прототипов библиотеки идентифицированных базовых подструктур, имевших место в различных достоверных прототипах, т.е.: блоки, свойства, связи. Данные библиотеки формируются путем обобщения описаний всех "старых" прототипов. Отдельные структуры в библиотеках логически объединены по ИЛИ.

В состав библиотек, объединяющих отношения различной степени агрегации, входят подструктуры, имеющие различную степень недоопределенности. Например:

1) Идентификаторы блоков, заданных как совокупности отношений принадлежности (блок-свойство), составляющих внешнюю границу.

Возможные недоопределенности:

- не задана информация о внешних связях;

- не задана информация о внутренней структуре блока и т.п.

2) Идентификаторы структуры типа свойства как состав его возможных значений. Возможные недоопределенности:

- не задана информация о отношениях принадлежности (элементов границ блоков), где используются свойства этого типа и т.п.

3) Типа функций для блоков базового уровня и т.д.

Наличие в некоторой рассматриваемой связи, входящей в "новый" прототип", идентификации самого отношения принадлежности, а так же идентификации его составляющих (свойства или блока) приводит к таким действиям системы:

- обращению в библиотеку статической базы данных (СБД), куда входит элемент, имеющий данную идентификацию, с целью синтаксической проверки идентификации;

- если рассматриваемая идентификация отношения принадлежности в связи полная (т.е. определена идентификация сред для связи), то по идентификации сред выбираются связанные по И с данным отношением принадлежности прочие отношения принадлежности в СБД, составляющие в совокупности границу некоторого блока;

- затем по данным отношения принадлежности (ОП), входящим в найденную границу блока, можно проверить, определены ли все необходимые связи, составляющие внутреннюю (внешнюю) среду для данной границы и добавить в среду отсутствующие связи.

Таким образом, доопределяется описание внутренней среды нового блока по совокупности заданных связей.

1. Полученное в результате таких действий описание среды (прототипа) может быть как полностью определенным, так и недоопределенным, т.е. неоднозначным. Возможны следующие интерпретации неопределенности в связях:

1) **ЕСЛИ** в составе связей имеется определенная идентификация свойств, идентификация типа блока, а идентификация собственно блока (прототипа) не определена (имеет значение *NIL*),

ТО подразумевается, что идентификатор данного блока может быть взят как один из вариантов по ИЛИ из множества имеющихся идентификаторов блоков данного типа в СБД;

2) **ЕСЛИ** в составе связей имеется определенная идентификация свойств, а идентификация собственно блока и его типа не определены (*NIL*),

ТО подразумевается, что идентификаторы типов и собственно блока могут быть взяты как некоторые варианты из соответствующих множеств по ИЛИ и т.д.

Степень недоопределенности набора связей может быть:

- изначально свойственной данному набору связей по причине отсутствия полной информации о структуре у пользователя в момент описании структуры "базового" прототипа;

- искусственно введенной в имеющийся набор связей некоторой среды, что равносильно построению (изобретению) новых структур на базе известных базовых решений.

Следует отметить, что при ограничении С2 может быть недоопределен как сам состав связей (быть неполным), так и недоопределены описания отдельных связей (т.е. включать *NIL*).

С3) Недоопределенный набор связей, не связанный с известными базовыми структурами.

Наименее жесткое ограничение. Если мы отказываемся от ограничения "С2", то в этом случае может оказаться, что мы вступаем в область изобретения новых базовых структур, не имеющих в СБД. Каждую такую новую базовую структуру (блок, свойство) необходимо проверять на принадлежность к известным типам на основе системообразующих элементов, вводить (в случае необходимости) новый тип базовых структур, вводить вообще новый тип блока A_n вместо рассматриваемого A и т.д. Данная задача имеет смысл, но выходит за рамки поставленной задачи - автоматизации ввода прототипов для известных типов блоков - и поэтому детально в данной работе не рассматривается.

6.3. Ограничения по достоверности гипотез

Достоверность прототипа зависит от уровня недоопределенности, заданного уровнем семантического ограничения С1-С3:

1) Прямо введенный прототип, т.е. прототип уровня "С1" имеет достоверность 100% вне зависимости от компетенции эксперта, курирующего обучение;

2) Прототипы, построенные различными способами от исходных прототипов, имеют уровень достоверности, определяемый логикой достоверности таким образом:

- достоверность уменьшается от уровня недоопределенности "С1" к уровню "С3";

- достоверность части прототипа не выше достоверности собственно прототипа;
- достоверность нового прототипа не выше минимума достоверности для всех частей, участвующих в создании нового прототипа (точная нижняя грань).

Достоверность изобретенного прототипа зависит от уровня квалификации эксперта, принимающего решение о семантической верности прототипа. При определении конечного уровня достоверности прототипа уровень квалификации эксперта умножается на достоверность прототипов, связанную с уровнем их недоопределенности.

Д1) Вводится нижний граничный уровень достоверности, ниже которого не имеет смысл рассматривать вновь "изобретенные" прототипы. Данный уровень может определяться направленностью системы САПР:

- 1) Поисковое конструирование (возможна любая достоверность большая 0);
- 2) Поиск решений близких к данному известному прототипу (процент определяется степенью недоопределенности, т.е. меры близости);
- 3) Поиск подходящих известных решений (достоверность - 100%) - решение типичных задач проектирования.

Меняя уровень достоверности можно изменять тем самым и направленность системы. Если "изобретенный" прототип проверен на практике, то его достоверность становится равной 100%.

Заключение

Рассмотрена общая задача адаптации специализированной инструментальной оболочки для автоматизации построения интеллектуальных САПР типичного проектирования на специфику предметной области. Сформулированы основные принципы построения семиотической модели доизобретения новых решений в рамках единичного модуля знаний, построенного предварительно на основе ряда уже имеющихся прототипов. Построено полноценное и формальное описание процесса доизобретения в рамках общей семиотической модели САПР, частью которой она является. Итоговая структура комплекса средств построения СМ в рамках задачи «обучение-изобретение» представлен в таб. 4. Предлагаемая модель позволяет повысить эффективность процессов обучения методикам проектирования технических изделий в любых предметных областях.

Таблица 4 - Итоговая структура комплекса средств построения СМ в рамках задачи «обучение-изобретение».

Горизонтальная достижимость между формальными моделями	Компоненты СМ		Инструменты построения отношений достижимости
	Неизменные	Изменяемые	
Обучение МЭО по прототипам, накопленным в П САПР: : - достижимость g по сигнатуре T ; - достижимость b по грамматике C ; - достижимость g по аксиоматике A ;	Правила вывода P ; Процедуры $P1, P2, P3, P4$;	Сигнатура T ; Грамматика C ; Аксиоматика A ;	1) Интерфейс «П САПР <-> Интеллектуальная надстройка»; 2) Обучение (дообучение) на базе ТМО;
Поиск новых прототипов в имеющейся грамматике: - достижимость по множеству семантически верных решений S (нет аналога в «классической» СМ);	Сигнатура T ; Грамматика C ; Правила вывода P ; Процедуры $P1, P2, P3, P4$;	Множество семантически верных решения S ;	3) Доизобретение, т.е. поиск новых семантически верных выражений в рамках множества синтаксически верных выражений C ;
Включение найденного нового подмножества прототипов в СМ: - достижимость g по аксиоматике A ;	Сигнатура T ; Грамматика C ; Правила вывода P ; Процедуры $P1, P2, P3, P4$;	Аксиоматика A ;	4) Редактирование множества аксиом A с целью обеспечить включение найденного нового подмножества прототипов.

Литература

1. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. М.: Высш. шк., 1986. — 304 с.
2. Петренко А.И., Семенков О.И. Основы построения систем автоматизированного проектирования. - К.: ВШ, 1984. - 296 с.
3. Григорьев А.В. Расширенная постановка задачи проблемной адаптации интеллектуальных САПР. Наукові праці ДонНТУ. Серія ІКОТ. Випуск 19'(2014).- Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», С. 62-71.
4. Григорьев А.В. Унифицированная концептуальная модель предметной области. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника. Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. — С. 225-228.
5. Григорьев А.В. Состав параметров адаптации на проблемную область в инструментальной оболочке для автоматизации построения интеллектуальных САПР. Наукові праці. Наукові праці ДонНТУ. Серія ІКОТ-2011. Випуск 14(185).- Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», С. 252-261.
6. Григорьев А.В., Каспаров А.А. Особенности реализации мета-эвристической оболочки для построения САПР. В книге: Наукові праці донецького державного технічного університету; серія: Проблеми модулювання та автоматизації проектування динамічних систем, Випуск 10, Донецьк: ДонГТУ, 1999, С. 217-222.

7. Григорьев А.В. Представление недоопределенности знаний в инструментальной оболочке для построения САПР. Искусственный интеллект. N 1, 1999. — С. 96-106.

8. Григорьев А.В. Семиотическая модель базы знаний САПР. Научные труды Донецкого государственного технического университета Серия: Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем, выпуск 10: Донецк, ДонГТУ, 1999. — С. 30-37.

9. Григорьев А.В. Система уровней модели предметной области для интеллектуальных САПР, Москва: Физико-математическая литература, КИИ'2000, 2000, С. 633-642.

10. Григорьев А.В. Методика тестирования для определения когнитивной сложности моделей различных предметных областей. Научные труды Донецкого государственного технического университета Серия: Информатика, кибернетика и вычислительная техника, (ИКВТ-99) выпуск 6: - Донецк, ДонГТУ, 1999. - С. 246-251.

11. Григорьев А.В. Оценка когнитивной сложности моделей. Научные труды Донецкого государственного технического университета Серия: Информатика, кибернетика и вычислительная техника, (ИКВТ-99) выпуск 6: - Донецк, ДонГТУ, 1999. - С. 252-259.

12. Григорьев А.В. Ограничение когнитивной сложности моделей. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 10. Международный сборник научных трудов С. 49-57.

13. Григорьев А.В., Бондаренко А.В., Шойхеденко А.В. Интерфейс табличного процессора EXCEL и специализированной оболочки для синтеза интеллектуальных САПР и АСНИ. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-97). Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. С. 229-238.

14. Григорьев А.В., Базалей А.О. Специализированная оболочка для синтеза интеллектуальных САПР и АСНИ. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-97). Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. С. 225-228.

15. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. - 288 с.

16. Кондрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А. Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Наука, 1989. - 328 с.

17. Тыугу Э. Х. Концептуальное программирование. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. - 256 с.

18. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системах представления и обработки знаний // Техн. кибернетика, 1986, № 5, С. 3-28.

19. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. - М.: Машиностроение, 1988.

20. Чус А.В. Основы технического творчества. К.: ВПШ, 1989.

21. Вороновский Г.К., Махатило К.В. и др. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. Х.: Основа, 1997. 112 с.

22. А.В. Григорьев. Организация пространства поиска решений в специализированной оболочке для создания интеллектуальных САПР. Вісник ТРТУ-ДонГТУ. Матеріали 2-го міжд. н.-т. семінара "Практика і перспективи інституціонального

партнерства". Донецк, ДонГТУ, 2001, N1, С.57-68.

23. А.В. Григорьев. Методы решения задачи структурного синтеза в интеллектуальных САПР, построенных на основе семиотической модели структур. / Наукові праці національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Випуск 19 (171). - Донецьк: ДонНТУ, 2010. - С. 128-140.

24. Григорьев А.В. Адаптивная система ограничений на сложность при синтезе новых решений в интеллектуальных САПР // Искусственный интеллект. - Донецк, 2001 - N 2 - С. 152 - 167.

25. Григорьев А.В. Содержание некоторых категорий абстракций в теории построения интеллектуальных САПР/ Наукові праці Донецького національного технічного університету / Редкол.: Башков Є.О. та інші. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація": Випуск 64.: Донецьк: Видавництво ДонНТУ, 2003 - С. 166-178.

26. Григорьев А.В. Теоретико-множественные операции над грамматиками как механизм работы со знаниями в интеллектуальных САПР. Вісник СНУ імені В.Даля, N 2(48). Луганск, ВУТУ, 2002. С. 186-194.

27. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. В двух томах. Т.1. Синтаксический анализ. Пер. Агафонова В.Н. Под. ред. Курочкина В.М. Мир, М.: 1978, с. 614.

28. Григорьев А.В. Специфика выполнения теоретико-множественных операций над контекстно-свободными грамматиками в условиях различных форм дополнительных семантических правил в семиотической модели интеллектуальных САПР / Научные труды ДонНТУ. Серия МАП - 2006. Випуск 5 (116). - Донецк: ДонНТУ, 2006. - С. 91-104.

Grigoriev A.V. The invention as a method of automating the process of learning design techniques in semiotic CAD model. The problem of adaptation of specialized shell tool to automate the construction of a typical intelligent CAD design to the specific design techniques in a given subject area. The basic principles of semiotic invention new models that make sense solutions within a single unit of knowledge built by a pre-training on the basis of an incomplete number of existing prototypes. The proposed model can improve the efficiency of learning processes of designing methods of technical articles in all subject areas.

Keywords: instrument shell, conceptual model, data domain, intelligent CAD module knowledge, semiotic model invention, training, design methodology.

Статья поступила в редакцию 13.06.2015

Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Звягинцевой