

## Концептуальная модель предметной области инструментальной оболочки для автоматизации построения интеллектуальных САПР

Григорьев А.В.

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

*Григорьев А.В. «Концептуальная модель предметной области инструментальной оболочки для автоматизации построения интеллектуальных САПР». Рассматривается задача построения комплекса методов и средств для автоматизации построения интеллектуальных САПР. С этой целью описываются: построение ряда параметров проблемной адаптации специализированной инструментальной оболочки для автоматизации построения интеллектуальных САПР на специфику предметной области; исследование ряда существующих инструментов построения требуемой оболочки с целью сформировать комплекс необходимых методов; собственно построение комплекса новых методов и средств; освещение практической эффективности работы. Предлагаемая модель позволяет повысить эффективность процессов проектирования технических изделий в любых предметных областях.*

**Ключевые слова:** инструментальная оболочка, концептуальная модель, предметная область, интеллектуальные САПР.

### Введение

В последнее время произошел переход от использования общих инструментальных оболочек, предназначенных для формирования экспертных систем универсального характера типа CLIPS, к инструментальным оболочкам, ориентированным на различные предметные области. Для примера можно назвать характерные инструментальные оболочки: G2, ориентированная на решение задач реального времени в АСУ; СПРУТ-технология, ориентированная на решение вычислительных задач в САПР и т.д. Комплекс методов и средств построения инструментальной оболочки, обеспечивающий ее адаптацию на заданную предметную область, носит название концептуальной модели предметной области.

Следует отметить, что спецификой САПР как экспертной системы является то, что комплекс моделей объекта проектирования составляет ярко выраженную систему взаимосвязанных уровней знаний о действительности [1]. С другой стороны, имеет место ярко выраженная тенденция упростить процесс построения экспертной системы средствами инструментальных оболочек, сделав его доступным экспертам в предметной области, в данном случае – проектировщикам.

Все существующие инструментальные оболочки, в том числе и ориентированные на построение САПР, полноценно не обеспечивают ни учета специфики САПР, ни тенденций упрощения процесса построения экспертной системы. Таким образом, можно сказать, что в настоящее время не достаточно внимания уделяется созданию инструментальных средств построения собственно

инструментальных оболочек, общих для различных предметных областей и ориентированных на экспертов в предметных областях, что делает данную задачу актуальной. Среди концепций построения инструментальных оболочек для создания экспертной системы специфике САПР как интеллектуальной системы в наибольшей степени соответствует концепция *мета-оболочек* [2]. Мета-оболочка предполагает явное построение концептуальной модели предметной области, заданной как система взаимосвязанных уровней знаний о действительности – метазнаний. Недостатками концепции мета-оболочек с точки зрения САПР являются: невозможность учета особенностей уровней и форм представления моделей в САПР, отсутствие средств и методов представления модели пространства и времени и т.д. [3].

С другой стороны, имеется успешный авторский опыт построения подобной инструментальной оболочки в области САПР (инструментальная оболочка *ИнтерНаМ*, ориентированная на вычислительную технику, но использующая только известные методики проектирования).

Предлагается путь построения специализированной мета-оболочки для создания интеллектуальных САПР – мета-эвристической оболочки, но построенной с позиций подходов, реализованных в *ИнтерНаМ*.

### Постановка задачи работы

Необходимо создать комплексную концептуальную модель предметной области для инструментальных оболочек, предназначенную для автоматизации построения интеллектуальных

САПР типичного проектирования в условиях заданной проблемной области.

Цель работы – построение ряда параметров проблемной адаптации инструментальных оболочек на специфику предметной области; исследование ряда существующих инструментов построения требуемой инструментальной оболочки с целью сформировать комплекс необходимых методов для построения концептуальной модели предметной области, требуемой инструментальной оболочки на основе комплекса выбранных методов; освещение ее практической эффективности.

### 1. Семантика задачи адаптации инструментальной оболочки для автоматизации построения интеллектуальных САПР

Рассмотрим смысл, т.е. семантику задачи адаптации инструментальной оболочки на предметную область САПР. Тут можно выделить как классические задачи и методы адаптации, так и современные. Рассмотрим их детальнее.

#### 1.1. Классические методы адаптации САПР

В теории построения САПР имеют место задачи [1]:

- адаптации готового САПР под условия эксплуатации;

- адаптации новых САПР под условия предметной области, т.е. *задача предметной адаптации*.

Средства адаптации готового САПР под условия эксплуатации:

- адаптация *формы ведения диалога САПР*;

- адаптация *структуры и состава БД САПР* и т.д.

*Классические средства адаптации на условия создания САПР:*

1) **Процедурная модель САПР**, задающая САПР как систему типичных абстрактных уровней, объединяющих ряд типичных проектных процедур, определенных над типичными же моделями объекта проектирования:  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ .

Проектные процедуры выполняются над множеством моделей:  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_{n+1}\}$ , с учётом множества критериев, ограничений и условий проектирования  $K: K = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ .

В процессе проектирования каждая процедура  $P_j$  задается как тройка:  $P_j = \{O_j, K_j, M_j\}$ , где  $O_j$  – комплекс проектных операций, входящих в процедуру. Каждая процедура  $P_j$  переводит модель  $M_j$  в следующее состояние:  $P_j: M_j \rightarrow M_{j+1}$  (рис. 1).

Различают процедуры *изобретения, синтеза, моделирования и документирования*.

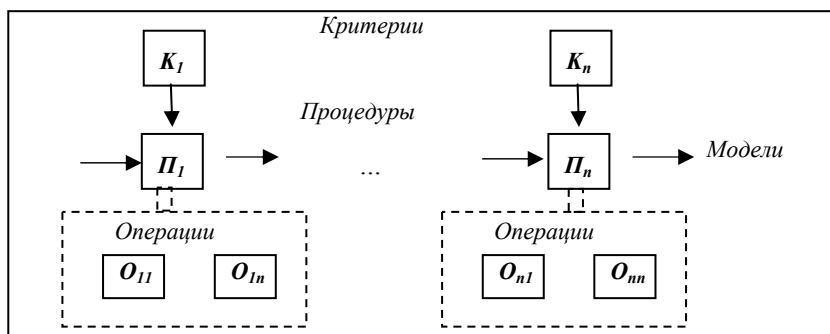


Рисунок 1. – Процедурная модель САПР

По типу можно выделить САПР поискового конструирования, ориентированные на поиск новых решений, и САПР типичного проектирования, предлагающие только известные решения, соответствующие данным условиям проектирования.

Все существующие модели могут быть отнесены к одному из уровней абстрагирования (к области применения различных математических теорий). Различают следующие уровни абстрагирования: структурные модели; логические модели; системные модели; количественных свойств и отношений.

Уровни отличаются: количеством типов отношений; моделью пространства и времени; полнотой отражения фазовых переменных и координат взаимодействия. Адаптация состоит в построении САПР требуемой структуры, отвечающей особенностям заданной предметной области.

2) **Метод аналогий**, позволяющий сводить предметные области друг к другу, а значит – унифицировать методы построения САПР в любой предметной области или же – свести их к одной из предметных областей (более развитой).

Между моделями любых предметных областей существует взаимное отображение, т.е. модель определённой предметной области на определенном уровне абстрагирования можно свести к моделям другой предметной области.

Такой предметной областью чаще всего является электротехника (табл. 1).

Названные методы адаптации необходимо использовать в любых новых подходах.

Таблица 1. – Фазовые переменные в различных предметных областях

Системы, тип движения	Фазовые переменные	
	типа I	типа U
Электрические	Ток I	Напряжение U
Механически поступательное	Сила F	Скорость V
Механически упругое	Сила F	Деформация
Механически вращательное	Вращательный момент M	Угловая скорость $\Omega$
Гидро	Поток (расход) q	Давление P
Пневмо	Поток (расход) q	Давление P
Тепло	Тепло поток q	Температура T

## 1.2. Современные задачи и методы адаптации САПР.

### 1.2.1. Специфика современного этапа развития САПР [3]:

1) переход САПР в область полностью интеллектуальных или гибридных, т.е. включающих наряду с обычными методами построения и исследования объектов и интеллектуальные;

2) количественная динамика развития предметных областей в САПР:

- увеличение числа новых технологий построения объектов (предметных областей);
- сокращение времени жизненных циклов технологий проектирования;

3) содержательная динамика развития предметных областей в САПР:

- усложнение объектов проектирования, т.е. использование иерархических, многоуровневых, регулярных, как структурно, так и функционально, моделей объектов проектирования;

- неравномерность развития предметных областей, технологий проектирования в них и соответствующих САПР;

- унификация средств и методов проектирования различных предметных областей на основе подходов, общих для различных предметных областей (принцип аналогий, *Simulink-MatLab*).

### 1.2.2. Тенденции развития искусственного интеллекта, влияющие на процесс интеллектуализации САПР:

1) появление новых средств и методов в искусственном интеллекте, имеющих широкие возможности адаптации;

2) удаление инженера по знаниям из процесса создания интеллектуальных САПР в пользу эксперта в предметной области, т.е. проектировщика, для чего необходимо учитывать уровень его квалификации в инженерии знаний;

3) появление технологий, позволяющих формализовать знания об объектах проектирования в данной предметной области (CASE-технологии, онтологии и т.д.);

4) появление инструментальных оболочек, предназначенных для создания экспертных систем в заданной предметной области.

Краткий список инструментальных оболочек:

- универсальные: Prolog, Clips, Jess, Exsys Corvid, Nexpert Object, AT ...;

- ориентированные на САПР: СПРУТ, ...;

- ориентированные на АСУТП: G2, ... и т.д.

Данные тенденции также необходимо учесть в параметрах адаптации.

## 2. Общая структура множества параметров адаптации специализированной инструментальной оболочки

Исходя из рассмотренной семантики задачи адаптации, сформируем множество параметров адаптации специализированной инструментальной оболочки. Данные параметры можно разделить на две группы [5]:

1) параметры инструментальной оболочки, связанные с ориентацией на САПР;

2) параметры инструментальной оболочки, функционирующей как обычная информационная оболочка.

Рассмотрим их детальнее.

### 2.1. Параметры специализированной инструментальной оболочки, связанные с ориентацией на САПР.

Включает два множества параметров адаптации, включающие три группы параметров:

*Множество 1.* Условия предметной области, в которых работает эксперт.

1) Специфика вербальной методики проектирования в данной предметной области,

что соответствует задаче *предметной адаптации*;

2) *Уровень достигнутого воплощения* вербальной методики проектирования в форме П САПР;

*Множество 2.* Характеристика эксперта, работающего в условиях предметной области.

3) *Уровень способности эксперта* в предметной области, играющего роль инженера по знаниям, явно сформулировать и передать свои знания о методике проектирования в инструментальной оболочке с целью повысить эффективность уровня воплощения методик проектирования в САПР.

Группа параметров 2 и 3 переводит задачу в *область проблемной адаптации САПР*.

Рассмотрим названные параметры детальнее.

**2.1.1. Условия предметной области, в которых работает эксперт.**

**2.1.1.1. Специфика вербальной методики проектирования требуемой П САПР.**

Задаёт желаемую (идеальную) структуру П САПР.

*Источники* вербальной модели:

1) документация разработчиков методики проектирования;

2) опыт проектировщиков, полученный в результате применения методики проектирования на практике;

3) множество готовых решений, воплощающих требуемые методики проектирования, как уже имеющихся в существующих П САПР, так и построенных проектировщиком самостоятельно в среде П САПР.

**2.1.1.2. Параметры адаптации концептуальной модели относительно вербальной модели требуемой П САПР.**

1) *Специфика структуры требуемой П САПР, т.е.:*

1.1) специфика системы взаимосвязанных абстрактных модельных уровней представления объекта проектирования:

- число уровней абстракции;
- связи между уровнями;

1.2) специфика состава проектных процедур на каждом абстрактном уровне:

- количество процедур;
- тип процедур.

2) *Специфика уровня полноты автоматизации выполнения операций проектирования для отдельных процедур в требуемой П САПР:*

2.1) специфика модели объекта проектирования предметной области различных проектных процедур для абстрактных уровней;

2.2) специфика критериев различных проектных процедур на различных абстрактных уровнях;

2.3) специфика форм реализации различных проектных процедур *доизобретения, синтеза, моделирования, документирования* на различных абстрактных уровнях.

**2.1.1.3. Уровень существующего воплощения вербальной методики проектирования в форме П САПР.**

Предполагает два аспекта анализа:

1) полнота структуры существующей П САПР относительно структуры идеального (эталонного вида) САПР, т.е.:

- состава абстрактных уровней;
- состава процедур на каждом уровне;
- состава операций для отдельных процедур;

2) полнота автоматизации выполнения операций проектирования для отдельных процедур существующей П САПР относительно возможного уровня автоматизации в модели идеального (эталонного) вида САПР.

**2.1.2. Характеристика эксперта, работающего в условиях предметной области.**

**2.1.2.1. Уровень способности эксперта в предметной области явно сформулировать и передать знания.**

**2.1.2.1.1. Семантика способности эксперта в предметной области явно сформулировать и передать знания.**

А) *Способность отразить специфику* вербальной методики проектирования в данной предметной области, т.е.:

1) *способность построить систему взаимосвязанных абстрактных модельных уровней представления объекта проектирования:*

- число уровней;
- связи между уровнями;

2) *способность отразить требуемый состав проектных процедур на каждом абстрактном уровне;*

3) *способность построить единый модуль знаний о методике проектирования некоторого типа структурного блока в рамках проектной процедуры синтеза для некоторого уровня абстрактного представления объекта проектирования.*

3.1) *Способность отразить специфику объекта проектирования данной предметной области.*

Рассматривается как возможность эксперта отразить специфику потенциала, потока и координат взаимодействия, специфика типов отношений, представляющих различные абстрактные уровни модели объекта проектирования.

Б) *Способность отразить специфику уровня воплощения методики проектирования в форме П САПР.*

Фактически, это способность построить интерфейс «язык интеллектуальной (И)

надстройки» – «язык проблемно-ориентированного (П) САПР», что включает:

- знание языка П САПР;
- знание языка формальных спецификаций инструментальных оболочек;
- анализ уровня полноты семантики П-языка относительно семантики языка формальных спецификаций.

**2.1.2.1.1.2. Параметры адаптации концептуальной модели по способности эксперта в предметной области явно сформулировать и передать знания.**

Можно рассмотреть три группы параметров адаптации мета-эвристической оболочки:

1) как *типичной инструментальной оболочки* на методику проектирования при создании САПР в заданной предметной области;

2) на *уровни квалификации экспертов* и способность построить *интерфейс с П САПР* при данном уровне воплощения;

3) на *уровни квалификации* по способности сформулировать *явно в форме БЗ свои знания* о методике проектирования в данной предметной области.

**2.2. Параметры адаптации мета-эвристической оболочки как типичной инструментальной оболочки.**

**1) Порядок обучения инструментальной оболочки** методике проектирования, соответствующий уровню воплощения и уровню квалификации эксперта в предметной области в рамках необходимой концептуальной модели предметной области:

- источники знаний;
- метод извлечения знаний;
- вид формируемой БЗ (представления знаний);
- порядок верификации БЗ.

**2) Порядок вывода в инструментальную оболочку**, соответствующий требуемой методике проектирования, уровню воплощения и уровню квалификации эксперта в предметной области:

- параметры вывода;
- алгоритм вывода;
- результат вывода.

**2.2.1. Этапы работы мета-эвристической оболочки как типичной инструментальной оболочки в соответствии с семантикой САПР:**

1) *обучение инструментальной оболочки* для построения системы БЗ о методах проектирования в данной предметной области, включая методы:

- построения САПР как системы процедур на различных абстрактных уровнях;
- функционирования САПР, т.е. построения модели объекта проектирования;
- моделирования объекта проектирования;

2) организация вывода в инструментальную оболочку:

- построение САПР (как БЗ) как результат выводы в инструментальную оболочку;
- построение модели объекта проектирования как результат вывода в САПР, построенной как БЗ;
- моделирование как результат вывода в интеллектуальной модели объекта проектирования.

**2.3. Предлагаемый порядок организации работы инструментальной оболочки.**

Предлагается следующий порядок адаптации специальной инструментальной оболочки на перечисленное множество параметров:

- адаптация на *уровень квалификации эксперта* в предметной области в методике проектирования;
- адаптация на *уровень достигнутого воплощения* методики проектирования;
- адаптация на *особенности методики проектирования* в данной предметной области.

Фактически, для каждой из градаций квалификации эксперта необходимо рассмотреть градации возможности:

- *сформулировать* явно в форме БЗ свои знания о методике проектирования в данной предметной области с учетом ее специфики;
- *построить интерфейс с П САПР*.

**3. Инструменты построения интеллектуальных САПР.**

Задача инструментов – обеспечить построение концептуальной модели предметной области, включая методы:

1) *представления знаний о методиках проектирования:*

- модели объекта проектирования;
- совокупности правил, отражающих методику проектирования;

2) *извлечения знаний;*

3) *верификации знаний;*

4) *организации логического вывода.*

Рассмотрим существующие инструменты с целью выбора необходимого их подмножества, обеспечивающего построение концептуальной модели предметной области, способной адаптироваться на заданные выше параметры предметной области.

**3.1. Краткая ретроспектива инструментальных методов.**

• *Динамические вычислительные модели (ВМ)* [6]. Декларация необходимости использования теоретико-множественных операций над порождающими грамматиками в процессе построения и модификации ВМ; методов ее решения дано не было.

• *Динамические недоопределенные ВМ* [7]. Дано определение НЕ-факторов. Применение теоретико-множественных операций свелось к оперированию областями определения переменных.

• *Технология R-tran* [8]. Ориентированна на автоматизацию процессов анализа формальных текстов; дает средства построения теоретико-множественных операций.

• *Инструментальная оболочка ИнтерНаМ* [9]. Удачная попытка разработки алгоритмов реализации таких теоретико-множественных операций над НЕ-факторами на базе *R-tran* с последующим практическим внедрением.

Теоретико-множественные операции и НЕ-факторы использовались в:

1) экспертной системе – интеллектуальном (И) САПР *EMULAT* [10];

2) инструментальной оболочке *ИнтерНаМ*.

САПР *EMULAT* обеспечивала синтез и модельное исследование структур и ПО спец-процессоров, построенных на базе секционного микропроцессорного набора Am2900. Типичный запрос к пользователю в экспертной системе *EMULAT*: «Задайте размер ALU в битах (кратно 4)». После ответа модель достраивалась соответствующими компонентами. Состав и порядок вопросов определялся предысторией диалога.

Инструментальная оболочка *ИнтерНаМ* была предназначена для автоматизации построения САПР типа *EMULAT*, но для любого секционного микропроцессорного набора. Специфика инструментальной оболочки *ИнтерНаМ* – *явное использование теоретико-множественных операций и НЕ-факторов в приложении к текстам, заданным на формальном языке спецификаций ДеСим*. Типичная продукция в *ИнтерНаМ*:

**REG[\*]->APU[\*].**

Смысл: ЕСЛИ в модели существует массив блоков типа REG произвольного размера (\*) ТО необходимо внести в модель массив блоков типа APU такого же размера (\*). Недостатки систем – недостаточно развитый механизм предметной и проблемной адаптации.

• Концепция «*мета-ЭС*» [11].

Достоинства:

1) способность адаптироваться на различные предметные области (мета);

2) динамическая модель экспертной системы;

3) наличие консультативно-обучающей подсистемы, управляющей процессом создания требуемой экспертной системы и др.

Недостатки:

1) отсутствие возможности адаптироваться на уровень подготовки эксперта в предметной области, выполняющего роль инженера по знаниям;

2) невозможность рассматривать систему уровней знаний о действительности.

• *Теория классического САПР* [1].

Достоинства:

представляет комплекс моделей в САПР любой предметной области как систему взаимосвязанных уровней знаний о действительности с физической семантикой, т.е.: законами сохранения, фазовыми переменными, координатами взаимодействия, моделями пространства и времени.

Недостатки:

1) отсутствие полноценной реализации в практике построения И САПР.

• *Концепция мета-оболочек* [2, 12].

Достоинства:

1) явное построение концептуальной модели предметной области, заданной как система взаимосвязанных уровней знаний о действительности – метазнаний;

2) ориентация на *онтологию*.

Недостатки:

1) отсутствие ориентации на САПР;

2) невозможность создать «тяжелые» онтологии, полноценно обеспечивающие процесс построения и функционирования И САПР.

**3.2. Современное состояние инструментальных средств.**

• **[Burke]** *Мета-эвристические алгоритмы и гиперэвристики* [13].

1) мета-эвристические алгоритмы – совокупность современных стохастических интеллектуальных методов поиска новых решений.

2) Гиперэвристики – генерация или выбор требуемой эвристики под задачу.

Достоинства:

1) рассматривается комплекс методов поиска новых решений, позволяющий выбрать оптимальный, исходя из специфики решаемой задачи, т.е. – адаптироваться на постановку задачи;

2) потенциальная возможность применения данного подхода в практике построения инструментальных оболочек в более широком смысле;

Недостатки – см. выше.

• *Работы в области И САПР* – практически полный набор параллельных результатов [14].

Отличие:

1) концепция мета-эвристической оболочки ориентирована на решение типичных задач проектирования, а данные работы – на построение И САПР поискового конструирования.

Недостатки:

- отсутствие использования теоретико-множественных операций в поисковом конструировании.

• *концептуальная модель предметной области с частичной физической семантикой* [15, 16].

Достоинства:

1) возможность частично моделировать физическую модель объектов;

2) использование рефлексивных связей в модели объекта.

Недостатки:

1) отсутствие полноценного отражения в предложенной модели физической семантики предметной области;

2) отсутствие структурной и функциональной (абстрактной) иерархичности и регулярности в моделях объектов.

• *Теоретико-множественная логика* [18].

Достоинства:

- достаточно хорошо проработанный теоретический аппарат, обладающий полным составом теоретико-множественных операций.

Недостатки:

1) отсутствие привязки теоретико-множественных операций не к множеству абстрактных идентификаторов решений, а к множеству решений, описывающих модели структур и функций реальных объектов, заданному либо в форме И-ИЛИ-деревьев решений, либо в форме грамматики множества решений с дополнительным множеством семантических правил (продукций);

2) отсутствие дополнительных модальностей «необходимо» и «возможно», наличие которых позволили бы модифицировать множество решений на уровне структур и функций.

• *Семiotическая модель* [19].

Система формальных моделей, связанных отношениями достижимости.

Достоинства:

- в роли формы представления в наибольшей степени соответствует задаче создания открытого САПР, ориентированного на языковое представление моделей, относящихся к различным абстрактным уровням.

• *Результаты*, полезные для решения поставленной задачи [7]:

1) НЕ-факторы;

2) динамические вычислительные недоопределенные сети ДНВС (ныне – программирование в ограничениях, интервальная математика).

Достоинства:

- возможность применить НЕ-факторы для построения системы уровней знаний о действительности;

- наличие в ДНВС потокового алгоритма вывода, потенциально обеспечивающего общий подход к организации логического вывода в интеллектуальных САПР типичного проектирования.

Недостатки:

1) не указано, как применять НЕ-факторы при построении концептуальной модели предметной области с физической семантикой;

2) не указано, как применять ДНВС в области моделей с физической семантикой.

• *Теория формальных грамматик* [20].

В настоящее время представлена такими классами грамматик как атрибутные, предикативные и трансформационные.

Достоинства:

- возможность описать систему формальных языков спецификаций в САПР, имеющих различную форму представления, исходя из специфики задачи адаптации в данной предметной области.

Недостатки:

- не исследована роль грамматик всех перечисленных типов в рамках СМ САПР, где теоретико-множественные операции могут выступать в качестве инструмента построения отношений достижимости смежных формальных моделей.

• *Классические модальные логики* [21].

Достоинства:

- возможность описать систему правил вывода (продукций), формально описывающих методики проектирования в И САПР типичного проектирования.

Недостатки:

- не описано применение модальностей в продукциях с использованием теоретико-множественных операций.

• *Псевдофизические логики* [22, 23].

Достоинства:

- большой класс пространственных и временных логик;

- достаточно развитый теоретический аппарат временной логики, позволяющий в принципе оперировать физическими событиями (изменение положения блоков, изменение значений сигналов и т.д.).

Недостатки:

1) отсутствие реальной связи с полноценной моделью объекта проектирования, обладающей физической семантикой;

2) необходимость фактически вручную формировать требуемую логику, что можно было бы исправить путем выполнения теоретико-множественных операций над прототипами-решениями, представленными как тексты в рамках некоторой грамматики, явно включающей модели пространства и времени.

• *Теория сложности систем автоматического управления (ТС САУ)* [24].

Достоинства:

1) фактически задает модель процедуры синтеза блока некоторого типа в САПР типичного проектирования;

2) явно рассматривает множество решений (ЦПС) и множество ТЗ (ПОС).

Недостатки:

- не позволяет использовать теоретико-множественные операции.

• *Оценки эффективности вывода в базе знаний, построенной на основе дерева дизъюнктов [25].*

Достоинства:

Рассматривают главные выходные показатели эффективности вывода в базе знаний, задающие эффективность D-алгоритма синтеза логической области дедуктивной выводимости (ЛОДВ):

- L(S) – длину логического описания ОДВ (число конъюнктов в ДНФ ЛОДВ);

- M(S) – число замещений литералов в процессе работы алгоритма.

Недостатки:

- не ориентирована на оценку сложности теоретико-множественных операций над грамматиками.

*Аналогичные замечания* можно привести к:

- *методам извлечения знаний из текстов и баз данных;*

- *CASE-технологиям;*

- *нейронным сетям;*

- *объектному подходу* и т.д.

**Общий вывод:**

- для обеспечения решения задачи проблемной адаптации в рамках заданного набора параметров нужна комплексная концептуальная модель предметной области, использующая практически все названные выше инструменты;

- совместное комплексное использование всех названных выше инструментов требует их модификации для учета как взаимного влияния, так и физической семантики концептуальной модели предметной области.

Предлагаемый состав основных инструментов:

1) методы и средства построения пары «EMULAT – ИнтернНаМ» как основа концептуальной модели предметной области;

2) семиотическая модель как математическая форма построения концептуальной модели предметной области, отражающая физическую семантику;

3) теоретико-множественные операции над порождающими грамматиками как средство извлечения знаний и организации логического вывода;

4) комплекс методов работы с НЕ-факторами, обеспечивающих как построение

модели объекта проектирования, так и построение правил проектирования;

5) ТС САУ как модель проектной процедуры синтеза решения в САПР типичного проектирования, где процедура синтеза решений построена как база знаний, организованная по модульному принципу;

6) методы организации интерфейсов «П САПР – инструментальная оболочка» как средство обеспечения извлечения знаний о методиках проектирования, а так же как средство верификации синтезированных решений, т.е. – как средство построения интеллектуальных надстроек над существующими П САПР.

Предлагаемые общие принципы построения технологии мета-эвристической оболочки на основе выбранных инструментов:

1) термин «*мета*» в концепции мета-эвристической оболочки имеет два смысла:

1.1) способность адаптировать инструментальную оболочку на различные предметные области;

1.2) использование комплекса стандартных абстрактных уровней представления модели объекта проектирования в САПР;

2) в рамках концепции необходимо выполнить:

2.1) разработку *модели объекта проектирования;*

2.2) разработку *модели БЗн*, соответствующей специфике подхода.

Фактически предлагается:

1) построить систему уровней абстракции, объединяющих множество взаимосвязанных моделей объектов проектирования данной предметной области;

2) на основе системы абстрактных уровней моделей объекта проектирования предметной области построить систему проектных процедур для различных абстрактных уровней.

По существу должен быть создан механизм построения модели предметной области как «тяжелой» онтологии, ориентированной на физическую семантику предметной области.

Кратко рассмотрим концепцию.

#### **4. Принципы разработки модели объекта проектирования в рамках концептуальной модели предметной области на базе физической семантики и НЕ-факторов**

Рассмотрим задачу построения системы уровней абстракции, объединяющих множество взаимосвязанных моделей объектов проектирования данной предметной области. Предлагается разделить ее на три этапа:



1) построить систему уровней представления потенциалов в данной предметной области, трактуемых как уровни данных;

2) на основе системы уровней представления потенциалов построить абстрактные уровни структурной и функционально-логической модели;

3) рассмотреть пути достройки функционально-логической модели до уровня количественной макро-модели, что предполагает ввод токов (потоков) и координат взаимодействия (емкостей, индуктивностей, сопротивлений источников токов и напряжений).

#### 4.1 Семантика модели объекта проектирования.

##### 4.1.1. Принципы построения модели объекта проектирования в мета-эвристической оболочке.

Сформулируем ряд общих положений, определяющих главные принципы реализации модели объекта проектирования в специализированной инструментальной оболочке:

1) *предметная область* – это модель мира некоторого уровня общности; модель мира ограничена и замкнута;

2) отличие предметных областей – только в *различной идентификации и составе* используемых типов потенциалов, при полностью эквивалентных подходах построения их модели;

3) предполагается неразрывное соответствие «*потенциал (данное)* – *структурный блок*» в модели объекта проектирования;

4) *декомпозиция потенциалов* (данных) различных типов есть основа декомпозиции различных типов структурных блоков в модели структуры объекта проектирования;

5) время и пространство как *различные типы потенциалов* в структурной модели мира;

6) декомпозиция единичного объекта проектирования (прототипа), принадлежащего к некоторому типу, как построение *И-дерева*;

7) декомпозиция некоторого типа объекта проектирования на множество прототипов единичных объектов проектирования как построение *И-ИЛИ-дерева*;

8) число прототипов *в типе ограничено и счетно* (специфика САПР типичного проектирования);

9) модель структуры любого единичного объекта проектирования некоторого типа описывается *некоторым известным прототипом*.

##### 4.1.2. Подходы к построению модели объекта проектирования.

Сформулируем ряд общих подходов, позволяющих реализовать предлагаемые

принципы реализации модели объекта проектирования в специализированной инструментальной оболочке:

1) использование принципа неразрывной пары «блок – данное», при этом «данное» трактуется как потенциал;

2) классификация НЕ-факторов по роли в декомпозиции объектов;

3) декомпозиция модели как основа построения иерархической, регулярной по структуре и функциям модели объекта проектирования;

4) модель мира, модель времени и пространства, модель физического блока, модель функционального блока рассматриваются как этапы декомпозиции рефлексивных структурных связей по собственному свойству на основе НЕ-факторов;

5) модель структурного блока задается как совокупность:

- внешней границы блока;
- внутренней границы блока как «обращения» внешней границы блока;
- состава подблоков внутренней среды блока;
- состава структурных связей между подблоками и т.д.

Рассмотрим детальнее.

##### 4.1.3. Семиотическая модель как основа концептуальной модели.

Опишем структуру семиотической модели (СМ) [19] как общего инструмента, позволяющего реализовать изложенные выше принципы и подходы.

СМ представляет собой открытую формальную систему и имеет форму восьмерки:

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

$T$  – множество базовых элементов системы, на которых строятся все выражения в  $F$ ;

$C$  – множество правил построения синтаксически правильных формул;

$A$  – множество аксиом  $F$ , как подмножество  $C$ ;

$\Pi$  – 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  $\Pi$ .

Процедуры:

$\Pi 1$  – определения принадлежности данного элемента множеству  $T$ ;

$\Pi 2$  – идентификации различия элементов множества  $T$ ;

$\Pi 3$  – определения синтаксической корректности элементов, построенных посредством правил  $C$ .

Процедуры  $\Pi 1, \Pi 2$  и  $\Pi 3$  – конструктивны, т.е. должны завершаться через определенное число шагов.

Конструктивная СМ является разрешимой, если существует конструктивная процедура П4, дающая однозначный ответ на вопрос – является ли данное синтаксически корректное описание семантически верным (т.е. сводимо к аксиомам).

Т.о., построить концептуальную модель предметной области как СМ означает реализовать все перечисленные компоненты СМ с тем, чтобы отразить перечисленные выше принципы и подходы.

#### **4.1.4. Роль НЕ-факторов как инструментария построения модели объекта проектирования:**

1) построение семиотической модели декомпозиции данных;

2) построение семиотической модели декомпозиции структур в модели мира.

Рассмотрим данные модели детальнее.

### **5. Применение НЕ-факторов при построении модели данных для объекта проектирования с физической семантикой.**

Рассмотрим СМ декомпозиции данных и структур на базе НЕ-факторов [26, 27].

#### **5.1. Семиотическая модель декомпозиции данных**

Концептуальная модель предметной области должна включать в себя следующие НЕ-факторы [26]:

1) **недоопределенность общих знаний** – т.е. представление типовой сущности как системы различных уровней огрубления понятий (тип U).

2) **недоопределенность конкретных знаний** – т.е. неполнота информации о фрагменте реальности в рамках фиксированной системы общих знаний (тип N).

3) **неоднозначность, альтернативность знаний** (тип A).

Опишем СМ декомпозиции данных (потенциалов), входящих в СМ модели объекта проектирования  $T_{мн}$ , как основу построения модели декомпозиции структур.

Состав множества базовых элементов  $T_n$ :

- множество свойств;
- множество значений свойств;
- иерархия отношений, определенных над свойствами, их значениями и отношениями нижележащих уровней.

Множество отношений, определенных над данными, включает в себя, согласно принятой автором классификации, отношения:

- принадлежности;
- передачи информации;
- обработки информации;
- декомпозиции;
- агрегации;
- порядка.

Будем рассматривать только **отношения декомпозиции и порядка**, определенные для свойств и значений, как наиболее связанные с недоопределенностью знаний.

Из состава возможных отношений принадлежности рассмотрим, в частности, отношение принадлежности свойств к модели **M**.

**Состав набора атрибутов A модели данных M:**

- номер уровня аппроксимации;
- номер уровня неполноты информации об аппроксимациях;
- номер уровня альтернативности знаний об аппроксимациях.

Совокупность моделей мира будем задавать упорядоченным набором правил изменения  $r_n$  для сигнатуры СМ  $T_n$ .

Как  $r_n$ , так и  $T_n$  будем подчинять ряду аксиом и правил вывода.

Упуская собственно аксиомы и правила, **перечислим следствия** из данных аксиом, важные с точки зрения технологии описания модели данных.

#### **5.1. Уровни аппроксимации.**

Пусть дано:

1)  $l$  – номер уровня недоопределенности общих знаний, иначе – **уровня аппроксимации** или уровня огрубления понятий (типа U); при,  $l = 1 \div K_U$ , где  $K_U$  – общее количество уровней аппроксимации;

2)  $D_l$  – набор свойств уровня  $l$ ;

3)  $D_{ljm}$  – идентификаторы значений  $j$  свойств уровня  $l$ ;

**Следствие 1.** Можно рассматривать совокупность неопределенностей уровня аппроксимации  $l$  (рис. 2).

Будем считать, что уровень аппроксимации  $l$  представлен списком базовых элементов, состоящим из следующих подмножеств.

#### **А) В составе свойств:**

- множество всех свойств;
- множество базовых, т.е. определенных свойств;
- неопределенное свойство;
- «прочие свойства»;
- базовые свойства с определенным набором значений;
- базовые свойства с неопределенной структурой.

#### **Б) В составе значений:**

- множество всех значений всех свойств;
- базовые, т.е. определенные значения;
- недоопределенные значения.

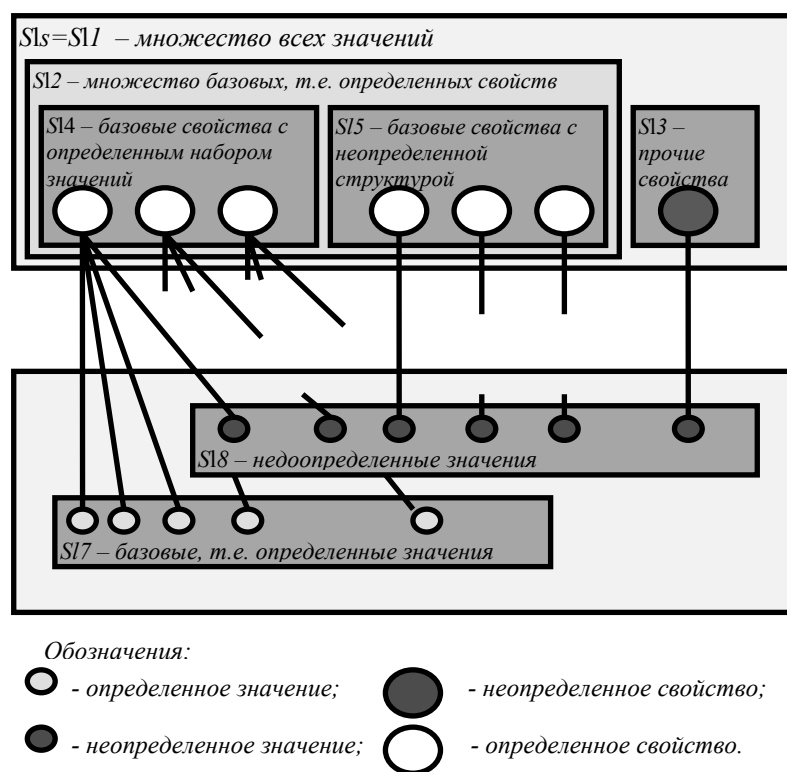


Рисунок 2. – Состав компонент уровня аппроксимации

**Следствие 2.** Множество всех неопределенностей уровня аппроксимации  $l$  может быть задано множеством неопределенных данных и значений.

### 5.2. Уровни неполноты информации об аппроксимациях.

Такая неопределенность может рассматриваться как **неполнота информации о фрагменте реальности** в рамках фиксированной системы общих знаний, т.е. недоопределенность типа  $N$ .

**Следствие 3.** Можно явно различать такие типы декомпозиции, т.е. типы правил изменения  $r$  для  $T$ :

$r_v$  – вертикальная декомпозиция, или декомпозиция свойств;

$r_g$  – горизонтальная декомпозиция, или декомпозиция значений.

### 5.3. Отношение уровней аппроксимации между собой.

**Следствие 4.** На уровне «0» имеется только один начальный элемент.

**Следствие 5.** Недопустимым является замена одного из базовых свойств уровня  $l$  некоторым новым свойством или его удаление.

**Следствие 6.** Допустимой формой изменения состава базовых свойств уровня  $l$  относительно уровня является только декомпозиция свойств или значений.

### 5.4. Уровни альтернативности знаний об аппроксимациях.

Рассмотрим неоднозначности знаний, связанные с наличием альтернативных

утверждений (неоднозначности типа  $A$ ). В нашем случае альтернативность должна трактоваться как наличие различных возможных форм представления уровней аппроксимаций. Пусть дано:

- номер уровня аппроксимации;
- набор базовых элементов уровня  $l$ .

**Следствие 7.** Возможны следующие формы взаимного отображения отдельно взятого варианта уровня  $l$  и множества вариантов уровня:

- не имеется ни одного соответствующего варианта;
- имеется подмножество соответствующих вариантов;
- соответствуют все варианты.

**Следствие 8.** Установление отношения порядка на элементах с учетом возможных вариантов представления требует введения дополнительного идентификатора (номера) в состав атрибутов элементов, рассматриваемого как «номер альтернативы формы представления для уровня аппроксимации».

### 5.5. Уровни альтернативности знаний об уровнях неполноты информации.

Строятся аналогично.

## 6. Семиотическая модель декомпозиции структур в модели мира

Результатом построения модели данных являются:

- сигнатура свойств (потенциалов)  $T_n CM$ ;
- грамматика описания свойств  $G_n CM$ .

На основе СМ декомпозиции данных, трактуемых как потенциалы блоков, можно построить СМ блочной декомпозиции модели объекта проектирования. Проиллюстрируем систему уровней СМ [27].

Отношения в модели тракуются как *структурные связи между блоками по свойствам (потенциалам)*.

Построение такой модели предполагает:

1) расширение сигнатуры свойств (потенциалов)  $T_n$  СМ до полноценной

сигнатуры модели объекта проектирования с физической семантикой –  $T_{мн}$ ;

2) расширение грамматики свойств (потенциалов)  $G_n$  СМ до полноценной грамматики модели объекта проектирования с физической семантикой –  $G_{мн}$ .

### 6.1. Уровень исходной модели мира (предметной области).

Модель прототипа уровня 1 не имеет альтернативных форм представления (рис. 3).

СВЯЗЬ "С0" ПО "NIL"

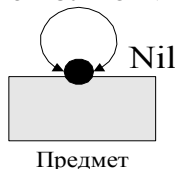


Рисунок 3. – Изначальное представление модели предмета

### 6.2. Уровень ввода времени как свойства и блока.

Декомпозиция блока включает произвольное число моделей времени, имеющих

связи с блоком «Время», и задает множество альтернативных форм представления уровня 2 (рис. 4).

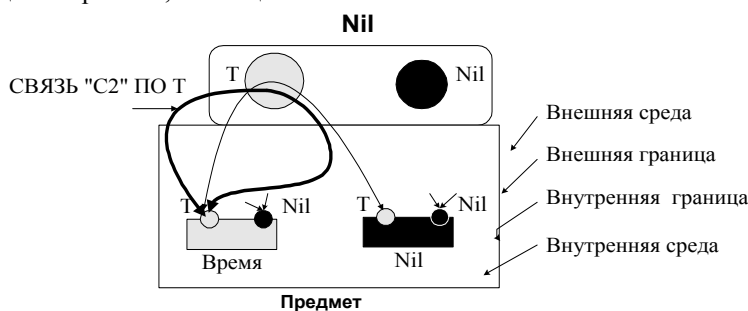


Рисунок 4. – Уровень ввода времени как свойства и блока

### 6.3. Уровень значений свойства времени и моделей пространств.

Декомпозиция моделей времени порождает ряд пространств (рис. 5).

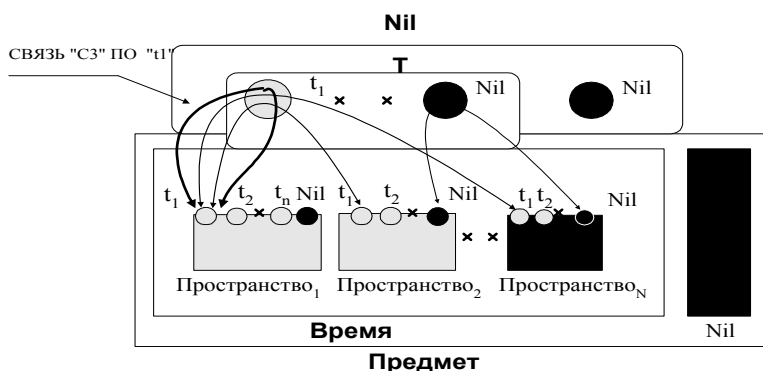


Рисунок 5. – Уровень определения моделей пространств

Упорядочивание моделей пространств по некоторой шкале задает модель времени.

Уровень 3 предлагаемой СМ задает жизненный цикл предметной области.

### 6.4. Уровень точек пространства и их идентификаторов.

Декомпозиция пространств порождает ряд физических точек (рис. 6).

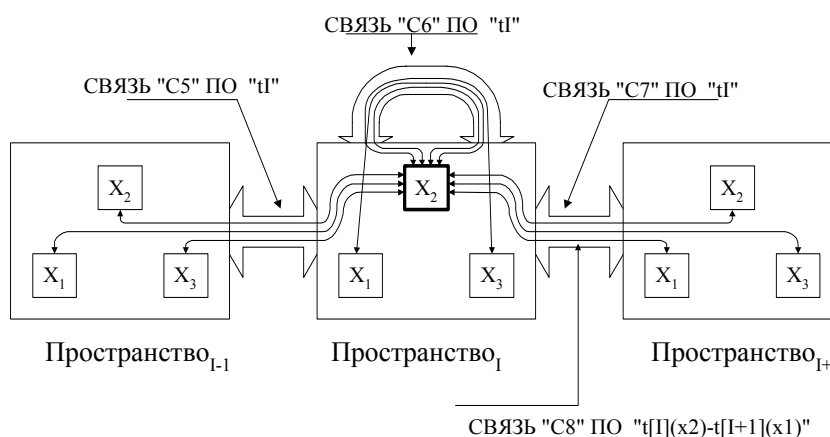


Рисунок 6. – Фрагмент совокупности связей точек пространства

Упорядочивание совокупностей физических точек в рамках единичных моделей пространств по некоторой совокупности шкал задает модель пространства.

Рассматривает модели точек пространства как наборы потенциалов предметной области, отражающих набор структурных связей точек пространства (табл. 2).

Таблица 2. – Пример состава свойств точек пространства

$t_{-1}^1$						$t_0^2$						$t_{+1}^3$					
$x_1^1$		$x_2^2$		$x_3^3$		$x_1^4$		$x_2^5$		$x_3^6$		$x_1^7$		$x_2^8$		$x_3^9$	
$s_1^1$	$s_2^2$	$s_1^3$	$s_2^4$	$s_1^5$	$s_2^6$	$s_1^7$	$s_2^8$	$s_1^9$	$s_2^{10}$	$s_1^{11}$	$s_2^{12}$	$s_1^{13}$	$s_2^{14}$	$s_1^{15}$	$s_2^{16}$	$s_1^{17}$	$s_2^{18}$

**6.5. Уровень «простых» свойств и внутренних функций точек пространства.**

Данный уровень СМ соответствует структурной модели объекта проектирования.

**6.6. Уровень значений «простых» свойств и «кортежей» функций.**

Рассматривает декомпозицию потенциалов на множество дискретных значений. При этом внешняя граница блока рассматривается как набор потенциалов предметной области и их значений (понимаемых как *альтернативная блочная структура* блока-типа данного).

Данный уровень СМ соответствует функционально-логической модели объекта проектирования.

**6.7. Уровень токов и координат взаимодействия.**

Рассматривается:

1) декомпозиция «черного» свойства блоков для ввода дополнительного свойства блока – тока (потока), т.е. – второй фазовой переменной;

2) введение свойств структурной связи между блоками, трактуемой как пара взаимно-направленных отношений причины-следствия,

таких как координаты взаимодействия (сопротивление, индуктивность и т.д.).

Данный уровень СМ соответствует количественной макро-модели объекта проектирования.

*Примечание:* уровни системной модели и уровень количественной микромодели детально не рассматривались, а только – эскизно.

Описанная выше модель объекта проектирования расширяет сигнатуру  $T_n$  СМ данных (потенциалов) путем включения моделей мира, пространства, времени, свойства, внешней границы блока и т.д. И-ИЛИ-дерево декомпозиции блоков есть основа семантики и грамматики языка описания множества моделей объекта проектирования  $G_{mn}$  на любом из перечисленных уровней декомпозиции. Грамматика языка  $G_{mn}$  контекстно-свободная, синтаксис соответствует языку ДеСиМ инструментальной оболочки *ИнтерНаМ*. Форма представления языка  $G_{mn}$  – БНФ (форма Бекуса – Наура). Т.о., процедуры СМ П1 и П2, описывающие различия элементов сигнатуры и грамматики СМ (в части языка  $G_{mn}$ ), считаются построенными. Соответствующие процедуры П1, П2 – конструктивны, т.е. завершаются через определенное число шагов.

## 7. Общие принципы построения семиотической модели базы знаний

Рассмотрим порядок расширения описанной выше модели, путем:

- расширения сигнатуры  $T$  СМ для ввода сигнатуры  $T_c$  языка синтеза модели  $G_c$ ;
- расширения грамматики  $G_{mn}$  до уровня полноценной грамматики СМ путем ввода грамматики синтеза  $G_c$ ;
- ввода аксиоматики  $A$  СМ и соответствующей процедуры ПЗ;
- ввода совокупности правил вывода  $\Pi$  СМ и определения соответствующей процедуры П4.

### 7.1. Описание основного подхода

Рассмотрим основные принципы построения проектных процедур на том или ином уровне абстракции модели объекта проектирования [28 – 31]. Проиллюстрируем данные принципы на примере процедуры синтеза.

В рассмотрении вводится понятие типа блока и прототипов блока, как множества альтернативных структур блока. Тип блока в дальнейшем трактуется как модуль знаний, а методика проектирования, соответствующая процедуре синтеза, представляется как база знаний, состоящая из совокупности модулей знаний. Порядок построения БЗ может различаться от пути декомпозиции модели объекта проектирования. Так, при прямой диалоговой декомпозиции различные варианты декомпозиции связей в модели структур порождают И-ИЛИ-дерево связей, позволяющее описывать различные варианты модели блоков любого уровня абстракции. В этом случае структурная связь может получить дополнительный идентификатор – номер прототипа на данном уровне абстракции.

И-ИЛИ-дерево связей является основой для обобщения ЖЦ (для создания системы модулей знаний), а номера прототипов в этом случае являются основой «неявных» **продукций**, связывающих данные альтернативы в И-ИЛИ-дереве зависимостями принадлежности к одному контексту.

Если подобное И-ИЛИ-дерево вводится не путем декомпозиции, а экспертным путем (прямой ввод модулей знаний), то в этом случае эксперт вводит «явные» **продукции**, связывающие различные альтернативы отношения совместимости-несовместимости.

### 7.2. Грамматика семиотической модели (G).

В рассматриваемой модели САПР имеется два языка: 1)  $G_{mn}$  – язык описаний **текстов прототипов** (на базе синтаксиса языка ДеСиМ из инструментальной оболочки *ИнтерНаМ*); имеет различную семантику и грамматику, исходя из уровня абстракции, где

он применяется; 2)  $G_c$  – язык *диалога синтеза* прототипов.

Данные языки соответствуют в *модифицированной ТС САУ* двум компонентам – **целевому пространству систем (ЦПС)**, т.е. множеству решений – прототипов и **пространству обликов систем (ПОС)**, т.е. множеству технических заданий.

Соответственно, имеются две различные грамматики: грамматика описаний текстов прототипов в ЦПС и грамматика диалога синтеза прототипов в ПОС. В грамматике описания множества прототипов имеется возможность построить любое из возможных описаний прототипов на формальном внутреннем языке представления моделей некоторого САПР.

В *грамматике диалога* каждый *ИЛИ-синтерм* трактуется как *возможный вопрос* к пользователю при синтезе решений и имеет дополнительно пустой элемент и возможность выбрать любое подмножество элементов.

Теоретико-множественные операции над грамматиками позволяют обеспечить процесс обучения БЗн САПР, т.е. **автоматическое построение ЦПС**, а так же процесс синтеза решений (прототипов) по ПОС, сформированному автоматически по ЦПС или же впрямую построенному пользователем.

### 7.3. Аксиоматика (A) и правила вывода (П), описывающие специфику базы знаний по семиотической модели структур

#### 1. Постановка задачи.

Будем рассматривать *иерархическую структуру объекта*, состав отношений которой задан в обобщенной концептуальной модели предметной области, построенной в форме СМ.

СМ структур как И-ИЛИ-дерево есть основа для построения СМ базы знаний.

#### 2. Статическое определение структуры.

Опишем отношения, составляющие структуру как сигнатуру СМ БЗн. Сигнатура задает: типы отношений; правила идентификации структур элементов в пределах структур-прототипов, сложных выражений или аксиом.

Всякий блок, как структурная единица, **идентифицируется совокупностью составляющих**: внешняя среда; внутренняя среда; внешняя граница блока; внутренняя граница блока.

#### 3. Идентификация отношений в пределах сложных отношений, имеющих альтернативы представления.

Рассмотрим состав СМ базы знаний, не вникая в формальные описания:

##### 3.1. Отношения внешних и внутренних границ между собой;

###### 3.1.1. Аксиоматика границ $A_g$ ;

- 3.1.2. Правила вывода для границ  $Pg$ ;  
 3.2. Отношение внутренних и внешних сред между собой;  
 3.2.1. Требования к средам, аксиоматика  $As$ ;  
 3.2.3. Отношение составляющих блоков, аксиоматика  $Ab$ ;  
 2.2.4. Отношение вариантов сред между собой, аксиоматика  $Ass$ ;  
 3.2.5. Правила вывода  $Pss$ ;  
 3.3. Зависимость вариантов сред от вариантов границ;  
 3.4. Отношение между составляющими структурной связи.

Процедура **ПЗ**, задающая отличия аксиом – конструктивна, т.е. завершается через определенное число шагов.

#### 7.4. Процедура П4

На верхнем уровне вывод в БЗн под управлением процедуры П4 [32] есть вывод на множестве вложенных модулей знаний. Порядок вывода – сверху-вниз, слева-направо, что обеспечивает конечность процесса вывода.

Общий порядок возможного вывода необходимой структуры блока, отвечающего заданным требованиям, исходя из заданного модуля знаний, таков:

- 1) вариант внешней среды определяет вариант внешней границы блока;
- 2) вариант внешней границы блока определяет вариант внутренней границы блока;
- 3) вариант внутренней границы блока определяет вариант внутренней среды блока и далее на 1 для определения структур вложенных подблоков.

Исходя из семантики модели пространства-времени процедура П4 задает алгоритм управления движением в пространстве и времени [П4]. Поскольку вывод ориентирован на сужение грамматики описания модели объекта проектирования  $G_{mn}$  до уровня, соответствующего набору требований, заданных в языке синтеза  $G_c$ , то из этого следует, что вывод монотонный [31]. В свою очередь, монотонность вывода говорит о том, что процедура П4 конструктивна, т.е. должна завершаться через определенное число шагов. Т.о., предложенная СМ конструктивна, т.к. конструктивны процедуры П1, П2, П3 и П4. Построенная СМ есть разрешимой, т.к. предлагаемая конструктивная процедура П4 всегда дает однозначный ответ на вопрос – является ли данное синтаксически корректное (т.е. – соответствует языку синтеза  $G_c$ ) описание семантически верным (т.е. сводимо к аксиомам). Фактически, речь идет о выборе в рамках языка описания объекта проектирования  $G_{mn}$  требуемого подмножества прототипов (семантически верных выражений).

## 8. Построение семиотической модели базы знаний на основе использования теоретико-множественных операций и НЕ-факторов

### 8.1. Роль теоретико-множественных операций как инструментария построения модулей знаний.

Рассмотрим детальнее роль теоретико-множественных операций как инструментария построения модулей знаний.

#### 8.1.1. Теоретическое обоснование алгоритма теоретико-множественных операций.

В качестве базового утверждения была доказана теорема, что существование требуемых теоретико-множественных операций не противоречит положениям теории формальных грамматик.

#### 8.1.2. Построение теоретико-множественных операций.

В соответствии с различными путями построения системы уровней абстракции объекта проектирования, предлагаются и различные алгоритмы теоретико-множественных операций. Разработанные алгоритмы теоретико-множественных операций отличаются ориентацией на различные модели эксперта в предметной области. Предложено три модели эксперта в предметной области, играющего роль инженера по знаниям:

- 1) «умный», что соответствует построению специализированных упрощенных систем типа ПРОЛОГ;
- 2) «средний», что соответствует построению специализированного редактора «тяжелых» онтологий как основы построения базы знаний;
- 3) «глупый», что соответствует построению специфических методов автоматического извлечения знаний из текстов.

Выделено два класса алгоритмов теоретико-множественных операций – с известной семантикой и грамматикой языка и – с неизвестной семантикой и грамматикой языка.

#### 8.1.2.1. Алгоритм теоретико-множественных операций в условиях полного отсутствия известной грамматики и семантики текстов

Соответствует модели «глухого» эксперта по знаниям [29, 30], не способного построить базу знаний и не знающим грамматики языка представления решений. Основой алгоритма является многократный прямой и обратный обход двух сравниваемых деревьев (грамматик) с помощью двух пар стеков. Алгоритм обеспечивает:

- синтез решений в диалоге с пользователем, задающего требуемые ему структурные особенности решения;

- синтез выполняется походом по грамматике как дереву решений с выбором в диалоге требуемой альтернативы в том или ином ИЛИ-узле.

#### 8.1.2.2. Алгоритмы теоретико-множественных операций в условиях полностью известной грамматики и семантики текстов

Предлагается ряд алгоритмов, отличающихся использованием различных форм семантических правил, определенных над грамматиками, вводящих контекстную зависимость.

Различные формы задания дополнительных семантических правил соответствуют трем моделям экспертов:

- модели «глупого» эксперта по знаниям; предполагает автоматическое формирование множества семантических правил (продукций);

- модели «умного» эксперта по знаниям; предполагает прямой ввод множества семантических правил (продукций);

- модели «среднего» эксперта; предполагает ввод продукций косвенно – через введение ряда отношений совместности-несовместности для ИЛИ-узлов дерева решений.

#### 8.2. Роль НЕ-факторов как инструментария построения модулей знаний.

В соответствии с различными путями построения системы уровней абстракции объекта проектирования, предлагаются и различные методы использования НЕ-факторов в правилах (продукциях), описывающих

методику проектирования. Например, явное использование по принципу *ИнтерНаМ* НЕ-факторов в продукциях, неявное и т.д.

### Выводы

Предложенный инструментарий использовался в практике построения оболочек в таких случаях:

1) использование теоретико-множественных операций и НЕ-факторов как механизма организации вывода в различных типах «пакетных продукций» в режиме «умного» эксперта;

2) использование теоретико-множественных операций и НЕ-факторов как механизма создания модулей знаний в режиме «глупого» эксперта;

3) построение пространственной и временной псевдо-физической логики в режиме «глупого» эксперта и т.д.

Разработанные инструментальные оболочки использовались в следующих предметных областях: 1) **бизнес-планирование в экономике** (синтез календарного плана, выбор оптимального распределения рабочих различной квалификации по производственным операциям и т.д.); надстройка над САПР бизнес-планов Project Expert; 2) **проектирование трубопроводов** (задача синтеза или реконструкции схем парогазовых установок, заданных на внутреннем ЛИСП-подобном языке САПР паро-газовых установок в энергетике СПРУТ); 3) **проектирование средств выч. техники** (интеллектуальная надстройка над САПР вычислительной техники OrCAD для синтеза нужного решения на языке VHDL) и т.д.

автоматизации построения интеллектуальных САПР // Наукові праці ДонНТУ. Серія ІКОТ-2011. Випуск 14(185). – Донецьк: ДонНТУ. – С. 252 – 261.

### Список литературы

1. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. М.: Вс. шк., 1986. – 304 с.
2. Клещев А.С. Экспертные оболочки, основанные на знаниях // Сборник научных трудов III конф. по искусственному интеллекту. КИИ-92. Т. 2. Казань. – С. 119 – 121.
3. Григорьев А.В. Расширенная постановка задачи проблемной адаптации интеллектуальных САПР // Наукові праці ДонНТУ. Серія ІКОТ. Випуск 19'(2014). – Донецьк: ДонНТУ. – С. 62 – 71.
4. Григорьев А.В. Унифицированная концептуальная модель предметной области // Информатика, кибернетика и вычислительная техника. Выпуск 1. Донецк: ДонНТУ, 1997. – С. 225 – 228.
5. Григорьев А.В. Состав параметров адаптации на проблемную область в инструментальной оболочке для

6. Тьугу Э.Х. Концептуальное программирование. – М.: Наука. 1984. – 256 с.

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

8. Вельбицкий И.В. Технологический комплекс производства программ на машинах ЕС ЭВМ и БЭСМ-6. – М.: Статистика, 1980.

9. Григорьев А.В. Теоретико-множественные операции над грамматиками как механизм работы со знаниями в интеллектуальных САПР // Вісник СХУ ім. В. Даля, № 2(48). Луганск: ВУТУ, 2002. – С. 186 – 194.

10. Реуцкий В.А., Гельман А.Ю., Григорьев А.В., Марков А.И., Карабчевский В.В. Пакет программ функционально-логического проектирования микропроцессорных систем. Техника средств связи. 1989. Вып. 6. – С. 63 – 66.



11. Стефанюк В.Л., Жожикашвили А.В. МЕТА-ES (консультирующая мета экспертная система) // Программное обеспечение и прикладные системы искусственного интеллекта, Каталог выставки на II Всесоюзной конференции «Искусственный интеллект-90». Минск: ИВТС МГТПТО. – С. 116 – 120, 191.
12. Артемьева И.Л. Многоуровневые модели предметных областей и методы их разработки // Труды десятой национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ-2006. М: Физматлит, 2006. – С. 100 – 108.
13. Burke E.K., Kendall G., Newall J., Hart E., Ross P. and Schulenburg S. (2003) Hyper-Heuristics: An Emerging Direction in Modern Search Technology, Chapter 16 in *Handbook of Meta-Heuristics* (Eds. F. Glover and G. Kochenberger), Kluwer Academic Publishers. – pp. 457 – 474.
14. Валькман Ю.Р. Основные концепции построения аппарата исчисления моделей в исследовательском проектировании сложных объектов // Сборник научных трудов «Искусственный интеллект-94». Том 2. Рыбинск. 1994. – С. 255 – 262.
15. Гаврилова Т.А. Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. С.-Пб.: Питер, 2000. – 384 с.
16. Гаврилова Т.А., Голенков В.В. Бинарные семантические сети и приведение произвольной семантической сети к бинарному виду // Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2011. К.: Просвіта, 2011. – С. 180 – 186.
17. Кузнецов О.П. Однородные ресурсные сети I. Полные графы // Автоматика и телемеханика, 2009, № 11. – С. 136 – 147.
18. Кулик Б.А. Система логического программирования на основе алгебры кортежей // Изв. РАН, серия «Техническая кибернетика», № 3, 1993. С. 34 – 64.
19. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. – 288 с.
20. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т.1. Синтаксический анализ. Пер. В.Н. Агафонова Под. ред. В.М. Курочкина. М.: Мир, 1978. – С. 614.
21. Семантика модальных и интенциональных логик. Сборник статей. Перевод с английского под ред. А.В. Смирнова. М.: Прогресс, 1981. – С. 424.
22. 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.
23. Еремеев А.П. Логика ветвящегося времени и ее применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // труды десятой национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ-2006. Т. 3. – М.: Физматлит, 2006. – С. 746 – 754.
24. Солодовников В.В., Тумаркин В.И. Теория сложности и проектирование систем управления. – М.: Наука. 1990. – 186 с.
25. Донской В.И. Логические продукционные системы: анализ и синтез // Техническая кибернетика и системный анализ, 1994, № 4. – С. 11 – 22.
26. Григорьев А.В. Представление недоопределенности знаний в инструментальной оболочке для построения САПР // Искусственный интеллект. № 1, 1999. – С. 96 – 106.
27. Григорьев А.В. Комплекс моделей САПР как система взаимосвязанных уровней о действительности // Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия ИКВТ-2000, выпуск 10. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – С. 155 – 167.
28. Григорьев А.В. Семиотическая модель базы знаний САПР // Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия: Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем, выпуск 10: Донецк: ДонГТУ, 1999. – С. 30 – 37.
29. Григорьев А.В. Теоретико-множественные операции над грамматиками как механизм работы со знаниями в интеллектуальных САПР // Вісник СНУ ім. В. Даля, № 2(48). Луганськ, ВУТУ, 2002. – С. 186 – 194.
30. 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. Выпуск 5 (116). – Донецк: ДонНТУ, 2006. – С. 91 – 104.
31. Григорьев А.В., Малявка О.В. Обеспечение монотонности вывода и верификация баз знаний в инструментальной оболочке для создания интеллектуальных надстроек над САПР // Наукові праці ДонНТУ. Серія ІКОТ. Випуск 11(164). Донецьк: ДонНТУ. – 2010. – С. 161 – 164.
32. Григорьев А.В. Управление движением объектов в семиотической модели предметной области // Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 48: Донецк: ДонНТУ, 2002. – С. 280 – 287.

### References

1. Norenkov I.P. Vvedenie v avtomatizirovane proektirovanie tehnicheskikh ustrojstv i sistem [Introduction to Designing automatic technical devices and systems]. М.: Vs. shk., 1986. – 304 p.
2. Kleshhev A.S. Jekspertnye obolochki,

- osnovannye na znanijah [Expert shell based on knowledge] // Sbornik nauchnyh trudov III konferencii po iskusstvennomu intellektu. KII-92. T. 2. Kazan'. – pp. 119 – 121.
3. Grigor'ev A.V. Rasshirenaja postanovka zadachi problemnoj adaptacii intellektual'nyh SAPR [Problem statement problems adaptation intellectual CAD] // Naukovi praci DonNTU. Serija IKOT. Issue 19'(2014). – Donec'k: DonNTU. – pp. 62 – 71.
  4. Grigor'ev A.V. Unificirovannaja konceptual'naja model' predmetnoj oblasti [Universal conceptual model objects area] // Informatika, kibernetika i vychislitel'naja tehnika. Issue 1. Donec'k: DonGTU, 1997. – pp. 225 – 228.
  5. Grigor'ev A.V. Sostav parametrov adaptacii na problemnuju oblast' v instrumental'noj obolochke dlja avtomatizacii postroenija intellektual'nyh SAPR [Composition parameters for adaptation problems objects region in building a shell for automation intellectuals CAD] // Naukovi praci DonNTU. Serija IKOT-2011. Issue 14(185). – Donec'k: DonNTU. – pp. 252 – 261.
  6. Tyugu Je.H. Konceptual'noe programmirovanie [Conceptual programming]. – M.: Nauka. 1984. – 256 p.
  7. Narin'jani A.S. Nedoopredelennost' v sistemah predstavlenija i obrabotki znanij [Undefined systems and presentation of technical science] // Tehn. kibernetika, 1986, no. 5. – pp. 3 – 28.
  8. Vel'bickij I.V. Tehnologicheskij kompleks proizvodstva programm na mashinah ES JeVM i BJeSM-6 [Technologic complex production programs for computers and machines EC BESM-6]. – M.: Statistika, 1980.
  9. Grigor'ev A.V. Teoretiko-mnozhestvennye operacii nad grammatikami kak mehanizm raboty so znanijami v intellektual'nyh SAPR [Technologic complex production programs for computers and machines EC BESM-6] // Visnik SNU im. V. Dalja, no. 2(48). Lugansk: VUTU, 2002. – pp. 186 – 194.
  10. Reuckij V.A., Gel'man A.Ju., Grigor'ev A.V., Markov A.I., Karabchevskij V.V. Paket programm funkcional'no-logicheskogo proektirovanija mikroprocessornyh system [Package Programs functional-logical designing Microprocessor systems]. Tehnika sredstv svjazi. 1989. Issue 6. – pp. 63 – 66.
  11. Stefanjuk V.L., Zhozhikashvili A.V. META-ES (konsul'tirujushhaja meta jekspertnaja sistema) [META-ES (conceptual goal expert system)] // Programmnoe obespechenie i prikladnye sistemy iskusstvennogo intellekta, Katalog vystavki na II Vsesojuznoj konferencii «Iskusstvennyj intellekt-90». Minsk: IVTS MGTPTO. – pp. 116 – 120, 191.
  12. Artem'eva I.L. Mnogourovnevyje modeli predmetnyh oblastej i metody ih razrabotki [Multilevel model object areas and methods s development] // Trudy desjatoj nacional'noj konferencii po iskusstvennomu intellektu KII-2006. M: Fizmatlit, 2006. – pp. 100 – 108.
  13. Burke E.K., Kendall G., Newall J., Hart E., Ross P. and Schulenburg S. (2003) Hyper-Heuristics: An Emerging Direction in Modern Search Technology, Chapter 16 in *Handbook of Meta-Heuristics* (Eds. F. Glover and G. Kochenberger), Kluwer Academic Publishers. – pp. 457 – 474.
  14. Val'kman Ju.R. Osnovnye koncepcii postroenija apparata ischislenija modelej v issledovatel'skom proektirovanii slozhnyh ob"ektov [Main building a concept apparatus calculus models researches Designing complicated objects] // Sbornik nauchnyh trudov «Iskusstvennyj intellekt-94». Tom 2. Rybinsk. 1994. – pp. 255 – 262.
  15. Gavriloza T.A. Horoshevskij V.F. Bazy znanij intellektual'nyh system [Intellektual knowledge base systems]. S.-Pb.: Piter, 2000. – 384 p.
  16. Gavriloza T.A., Golenkov V.V. Binarnye semanticheskie seti i privedenie proizvol'noj semanticheskoy seti k binarnomu vidu [Binary semantic network and adduction arbitrary semantic network for Binar species] // Intellektual'nyj analiz informacii IAI-2011, K.: Prosvita, 2011. – pp. 180 – 186.
  17. Kuznecov O.P. Odnorodnye resursnye seti I. Polnye grafy [Homogeneous resorts sets. The full graphs] // Avtomatika i telemekhanika, 2009, no. 11. – pp. 136 – 147.
  18. Kulik B.A. Sistema logicheskogo programmirovanija na osnove algebrы kortezhej [The system is based on logical programming algebra tuples] // Izv. RAN, serija «Tehnicheskaja kibernetika», no. 3, 1993. – pp. 34 – 64.
  19. Pospelov D.A. Situacionnoe upravlenie: teorija i praktika [Situation Management: Theory and Practice]. M.: Nauka, 1986. – 288 p.
  20. Aho A., Ul'man Dzh. Teorija sintaksicheskogo analiza, perevoda i kompiljacii [Syntaxes Theory analysis, transfer and compliant]. T.1. Sintaksicheskij analiz. Per. V.N. Agafonova Pod. red. V.M. Kurochkina. M.: Mir, 1978. – P. 614.
  21. Semantika modal'nyh i intensional'nyh logic [Semantics modal in intensional and logic]. Sbornik statej. Perevod s anglijskogo pod red. A.V. Smirnova. M.: Progress, 1981. – P. 424.
  22. Kondrashina E.Ju., Litvinceva L.V., Pospelov D.A. Predstavlenie znanij o vremeni i prostranstve v intellektual'nyh sistemah [Knowledge representation of time and space in intelligent systems] / Pod red. D.A. Pospelova. – M.: Nauka, 1989. – 328 p.
  23. Eremeev A.P. Logika vetvjashhegosja vremeni i ee primenenie v intellektual'nyh sistemah podderzhki prinjatija reshenij [Logic branching of time and its application in intellectual systems support adoption of decisions] // trudy desjatoj nacional'noj konferencii po

- iskusstvennomu intellektu KII-2006. T. 3. – M.: Fizmatlit, 2006. – pp. 746 – 754.
24. Solodovnikov V.V., Tumarkin V.I. Teoriya slozhnosti i proektirovanie sistem upravleniya [Designing Theory and complexity of management]. – M.: Nauka. 1990. – 186 p.
  25. Donskoj V.I. Logicheskie produkcionnye sistemy: analiz i sintez [Logic production systems: analysis and synthesis, commercial] // Tehnicheskaja kibernetika i sistemnyj analiz, 1994, no. 4. – pp. 11 – 22.
  26. Grigor'ev A.V. Predstavlenie nedoopredelennosti znaniy v instrumental'noj obolochke dlja postroenija SAPR [Presentation of uncertain known in instrumental shell for building a CAD] // Iskusstvennyj intellekt. no. 1, 1999. – pp. 96 – 106.
  27. Grigor'ev A.V. Kompleks modelej SAPR kak sistema vzaimosvjazannyh urovnej o dejstvitel'nosti [As complex CAD models system interconnected level of reality] // Sbornik nauchnyh trudov DonGTU. Serija IKVT-2000, issue 10. – Doneck: DonGTU, 2000. – pp. 155 – 167.
  28. Grigor'ev A.V. Semioticheskaja model' bazy znaniy SAPR [Semiotic base model known CAD] // Sbornik nauchnyh trudov DonGTU. Serija: Problemy modelirovanija i avtomatizacii proektirovanija dinamicheskikh sistem, vypusk 10: Doneck: DonGTU, 1999. – pp. 30 – 37.
  29. Grigor'ev A.V. Teoretiko-mnozhestvennye operacii nad grammatikami kak mehanizm raboty so znaniyami v intellektual'nyh SAPR [Set-theoretic operations on grammars as a mechanism to work with intellectual knowledge in CAD] // Visnik SNU im. V. Dalja, no. 2(48). Lugans'k, VUTU, 2002. – pp. 186 – 194.
  30. Grigor'ev A.V. Specifika vypolnenija teoretiko-mnozhestvennyh operacij nad kontekstno-svobodnymi grammatikami v uslovijah razlichnyh form dopolnitel'nyh semanticheskikh pravil v semioticheskoy modeli intellektual'nyh SAPR [Specificity Set-theoretic perform operations on context-independent grammar in conditions DIFFERENT forms additional semantic rules in semiotic model intellectual CAD] // Nauchnye trudy DonNTU. Serija MAP – 2006. Issue 5 (116). – Doneck: DonNTU, 2006. – pp. 91 – 104.
  31. Grigor'ev A.V., Maljavka O.V. Obespechenie monotonnosti vyvoda i verifikacija baz znaniy v instrumental'noj obolochke dlja sozdaniya intellektual'nyh nadstroek nad SAPR [Providing output monotony and verification of knowledge bases in instrumental shell to create intelligent CAD add-on] // Naukovi praci DonNTU. Serija IKOT. Issue 11(164). Donec'k: DonNTU. – 2010. – pp. 161 – 164.
  32. Grigor'ev A.V. Upravlenie dvizheniem ob"ektov v semioticheskoy modeli predmetnoj oblasti [Manage objects in motion semiotic model objects area] // Obchisljuval'na tehnika ta avtomatizacija. Issue 48: Doneck: DonNTU, 2002. – pp. 280 – 287.

*Григор'єв О.В. «Концептуальна модель предметної області інструментальної оболонки для автоматизації побудови інтелектуальних САПР». Розглядається задача побудови комплексу методів і засобів для автоматизації побудови інтелектуальних САПР. З цією метою описуються: побудова ряду параметрів проблемної адаптації спеціалізованої інструментальної оболонки для автоматизації побудови інтелектуальних САПР на специфіку предметної області; дослідження низки існуючих інструментів побудови необхідної оболонки з метою сформулювати комплекс необхідних методів; власне побудова комплексу нових методів і засобів; освітлення практичної ефективності роботи. Запропонована модель дозволяє підвищити ефективність процесів проектування технічних виробів в будь-яких предметних областях.*

**Ключові слова:** інструментальна оболонка, концептуальна модель, предметна область, інтелектуальні САПР

*Grigoryev A.V. “The instrumental shell conceptual model domain to automate the intelligent CAD construction”. The complex methods and tools for building intelligent automation CAD construction problem reviewed. For this purpose, are described: the construction of number concern parameters to adapt a specialized tool shell for building intelligent automation CAD on the specific subject area; the study of number existing tools required for the shell constructing so as to form a set of necessary methods; the actual construction of a new methods and tools complex; practical efficiency lighting. The proposed model can improve the technical products design efficiency in all possible subject areas.*

**Key words:** shell instrumental, conceptual model, subject area, intelligent CAD

Статья поступила в редакцию 14.08.2014  
Рекомендована к публикации в журнале «Техн. наук А.А. Каргиным»