

САПР ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК СПРУТ КАК ПРОТОТИП ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ САПР В ТЕХНОЛОГИИ МЭО

А.В. Григорьев

Донецкий национальный технический университет, кафедра ПМиИ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время можно выделить два класса технологий построения САПР. Это, во-первых, технологии построения САПР общего назначения и крупных промышленных проблемно-ориентированных САПР и, во-вторых, технологии построения интеллектуальных САПР. Второй класс в силу своей недостаточной развитости пока не может претендовать на роль широко востребованных САПР, а САПР первого класса имеют недостаточный уровень "интеллектуальности". Рассмотрим их детальнее.

Краткий обзор технологий построения САПР общего назначения

Среди САПР общего назначения и крупных промышленных проблемно-ориентированных САПР можно назвать для примера комплексы T-FLEX [1], AUTOCAD, семейство пакетов САПР фирмы Autodesk, САПР проектирования вычислительных средств на кристаллах Cadence Design System [2], ряд архитектурных систем и прочие. Анализ достоинств рассмотренных пакетов позволяет сформировать следующий набор требований к САПР, обеспечивающий необходимый уровень стандартных возможностей:

- Наличие внутренней математической модели;
- Взаимосвязанность математических моделей и чертежей;
- Параметрическое проектирование и т.д.

Модели проектирования включают:

- 1) Модель объекта, т.е. ряд параметров и математическую модель, связывающую параметры,
- 2) Модель проекта, т.е. модель конкретного объекта, связывающую расчетами через мат. модель конкретные значения параметров;
- 3) Графическую модель, т.е. чертеж как отражение совокупности конкретных решений, составляющих проект; данная модель автоматически формируется по математической модели.

Возможности графической модели должны включать: средства формирования различных видов и срезов; поиск следующего примитива; регулирование видимости примитивов (скрытый/видимый); моделирование поверхностей; тонирование поверхностей; необходимость избежать возможных коллизий; учет необходимых зон изоляции; средства выполнения прочностных расчетов и т.д.

Модельные уровни объектов, поддерживаемые САПР, включают структурный, функционально-логический, количественный уровни. Уровни моделей отличаются используемым математическим аппаратом - от теории графов до дифференциальных уравнений в частных производных. Создание полной системы взаимосвязанных модельных уровней является актуальной задачей.

Задачи, решаемые САПР, включают проектирование новых объектов и реконструкцию старых объектов. Проектирование новых объектов может выполняться либо на базе типичных решений, либо путем изобретения новых решений. Задача реконструкции, как правило, рассматривается как модификация ранее спроектированных объектов [1,3] и решается путем параметризации проектов. Задача параметризации предполагает изменение ряда параметров проекта (входных требований, выходных характеристик) и формирование с помощью мат. модели новой модели проекта и новых чертежей. От методов параметризации существенно зависит эффективность САПР.

К недостаткам названных САПР можно отнести низкий уровень использования возможностей методов искусственного интеллекта - баз знаний, логического вывода и т.д. Главный недостаток рассмотренных выше систем с точки зрения "интеллектуализации" процесса проектирования и создания новых проблемно-ориентированных САПР заключается в том, что имеющиеся в них "интеллектуальные" элементы:

- не учитывают наличие ряда эвристических методик проектирования, в том числе и реконструкции,
- не позволяют создавать базы знаний для любой предметной области, обучаться на небольшом числе сложных апробированных решений - прототипов и т.д.

Краткий обзор технологий построения специализированных интеллектуальных САПР

Среди многочисленных проблемно-ориентированных САПР, имеющихся в настоящее время, можно выделить интеллектуальные САПР, обладающими теми или иными интеллектуальными возможностями, повышающими эффективность труда проектировщиков. Можно выделить чисто интеллектуальные САПР, использующие только интеллектуальные методы представления знаний, а так же гибридные системы [4], включающие как интеллектуальную компоненту, так и компоненту по работе с обычными методами представления моделей. Среди названных экспертных систем имеются, например, система МАВР-ЭС (гибридная) [4], система выбора конфигурации вычислительных устройств R1 [5], система "Тропик" [6], система предварительного структурного проектирования высотных зданий HI-RISE [7], ее развитие DESTINY [8], система проектирования механических устройств DOMINIC [9] и прочие, а

так же инструментальные оболочки, предназначенные для создания конкретных интеллектуальных САПР, например, оболочка для создания экспертных систем в области строительного проектирования BUILD [10] и другие. Имеется даже концепция построения оболочек для формирования инструментальных оболочек для создания интеллектуальных САПР [11]. Названные системы позволяют: учесть наличие ряда эвристических методик проектирования, в том числе и реконструкции; создавать базы знаний для различных предметных областей; обучаться и т.д.

Следует отметить, что интеллектуальная компонента названных САПР пока практически ориентирована только на начальный этап проектирования объектов, как правило, ориентируюсь на структурный уровень проектирования [11] и очень редко - на функционально-логический [12].

К недостаткам названных интеллектуальных САПР (И САПР) можно отнести:

- отсутствие детально разработанной формальной (т.е. не эвристической) методики для представления системы уровней знаний об объекте;
- отсутствие инструментальных средств для построения продукций, ориентированных на текстовое представление моделей объектов и т.д.

Технология мета-эвристических оболочек

Автором в работах [13-24] предложена концепция мета-эвристической оболочки (МЭО), ориентированная на автоматизацию построения интеллектуальных САПР. Данная концепция позволяет преодолеть ряд недостатков существующих интеллектуальных САПР и решить ряд задач, актуальных для САПР, более эффективным путем. Главные отличия технологии МЭО от вышеназванных средств построения интеллектуальных САПР таковы:

1) Построение иерархии модельных уровней структур и функций объекта проектирования на базе декомпозиции НЕ-факторов различных типов в форме семиотической модели и на базе физической семантики предметной области;

2) Использование языков спецификаций для представления моделей объектов;

3) Использование вычислительных моделей и программирования в ограничениях как методов построения функций;

4) Использование порождающих грамматик с определенными над ними дополнительными продуктами как средства представления знаний, а теоретико-множественных операций над грамматиками - как средства манипулирования знаниями;

5) Использование двух альтернативных путей к построению интеллектуальных САПР в среде оболочки как экспертной системы: а) создание И САПР с "нуля" на основе собственного внутреннего языка спецификаций оболочки; б) создание интеллектуальной надстройки над существующими проблемно-ориентированными САПР для синтеза решений на языке данного САПР;

6) Использование методики создания языковых интерфейсов с проблемно-ориентированными САПР для обеспечения накопления знаний и верификации синтезированных решений.

Исходя из особенностей МЭО, можно говорить уже не о гибридной, а полностью интеллектуальной САПР, позволяющих представлять модели объектов не только структурного уровня, но и функционально-логического и количественного уровня методами, относящимися к теории искусственного интеллекта. Следует отметить также, что ранее автором был разработан интеллектуальный проблемно-ориентированный САПР, предназначенный для проектирования и реконструкции паро-газовых установок (ПГУ) в энергетике - СПРУТ [25-26]. СПРУТ по своим возможностям являлся одновременно как прототипом интеллектуального САПР, создаваемого по технологии МЭО, так и - полигоном для приложения различных возможностей МЭО. Т.о., система СПРУТ может рассматриваться как:

1) САПР, построенная на общих принципах, на которых создаются САПР в МЭО, в частности по таким пунктам:

- создание системы постпроцессоров для связи с другими САПР, имея целью выполнение задач документирования, редактирования, модельного анализа моделей ПГУ, построенных в СПРУТ;

- использование программирования в ограничениях (вычислительные недоопределенные сети) для автоматизации формирования моделей объектов проектирования в МЭО;

2) САПР, используемая для построения над ней интеллектуальной надстройки, т.е. системы синтеза программ на внутреннем языке системы СПРУТ (т.е. языке ЛИСП), в частности:

- имеется одна из версий МЭО, ориентированная на синтез моделей ПГУ на внутреннем языке оболочки с последующим переводом описания полученной модели на ЛИСП;

- имеется надстройка над СПРУТ, как проблемно-ориентированным САПР, обеспечивающая синтез моделей ПГУ на ЛИСП;

3) САПР, имеющая ряд возможностей, не описанных ранее в работах по теории построения МЭО, т.е. дополняющих общую концепцию МЭО, в частности: работа с полным комплексом модельных уровней представления объектов проектирования; решение задач реконструкции и параметризации; работа с графическими объектами.

Целью статьи является: 1) Исследование САПР СПРУТ на эффективность методов организации САПР, принятых в МЭО, и методов организации интеллектуальных надстроек над проблемно-

ориентированными САПР; 2) Изложение ряда положений, доопределяющих концепцию МЭО методами и средствами, имеющимися в СПРУТ, т.е.: работу с графикой, чертежами; использование вычислительных моделей; создание языковых интерфейсов и постпроцессоров; работа в среде комплекса проблемно-ориентированных САПР.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

1. Общая характеристика САПР СПРУТ

Общая структура САПР СПРУТ показана на рис. 1. Перечислим важнейшие элементы концепции МЭО, реализованные в СПРУТ:

- наличие ряда интерпретаторов (постпроцессоров) внутренней семантической модели во внешний язык представления моделей систем моделирования различных САПР;
- представление внутренней модели семантической сетью фреймов, рассматриваемой в комплексе с библиотекой базовых соответствий (ББС) как вычислительная модель, обеспечивающая возможность редуцирования неопределенностей во внутренней модели за счет работы вычислительной сети;
- наличие грамматики языка внутреннего представления объекта проектирования, т.е. ПГУ;
- построение вычислительной модели на основе средств ЛИСПА;
- использование распознающей системы для построения моделей ранее спроектированных объектов по разработанному варианту структурно-лингвистического метода.

Общая структура базы данных (БД) системы СПРУТ включает в себя: БД чертежей, БД элементов данного чертежа, БД типов элементов. БД типов элементов чертежа включает в себя отдельные библиотеки для различных классов элементов, в частности, это: трубы, арматура для труб, оборудование, строительные конструкции. Компонент базы данных элементов чертежа включает в себя две составляющие: вычислительную топологическую модель (ВТМ) и графическую модель. Модель проектируемого объекта в СПРУТ представляет собой два файла, собственно графическую модель чертежа, т.е. DWG-файл и языковую модель объекта. Для формального языкового представления видеобразов элементов и чертежа в целом используется подмножество языка АВТОЛИСП.

2. Вычислительные модели, программирование в ограничениях как метод представления функциональных моделей в СПРУТ

Отличием построения моделей функций в СПРУТ является ориентация на метод обобщенных вычислительных моделей и метод программирование в ограничениях. Данные методы, с одной стороны, позволяют наиболее эффективно решать задачи параметризации, а, с другой стороны, обеспечивать наиболее гибкий аппарат представления функций в САПР.

2.1. Общие теоретические положения

2.1.1. Базовая теория вычислительных моделей (по Тыгу [32]) включает такие положения:

- определяется постановка задачи: «дано - параметры» - «получить - параметры»;
- выполняется синтез программы по задаче, т.е. код алгоритма на некотором языке, который и может решать данную задачу при любых исходных данных;
- задачу ставит пользователь, исходя из своих целей;
- основа подхода - вычислительная сеть – система узлов, которые составляют данные, связанные между собой вычислениями, т.е. формулами;
- имеет место задача выбора пути от «дано» к «получить»;
- основа подхода - формирование по ряду исходных формул т.н. "вычислительных схем", где по ряду входных параметров формируется один - искомый, задействованный в требуемой цепочке вычислений;
- приложения – решение математических задач, например геометрических задач.

2.1.2. Программирование в ограничениях (по Нариньяни [33,34]):

- имеется та же вычислительная сеть (старое название данной теории - «вычислительные недоопределенные динамические сети») [33];
- с узлами связаны не значения «знаю», «хочу знать», а область определения как подмножество значений, заданное системой ограничений (двухсторонние, односторонние, набор интервалов);
- система формульных отношений – та же самая;
- меняется постановка задачи «есть текущее недоопределенное состояние сети», «найти новое состояние, когда все ограничения соотношены между собой»;
- меняется процесс вывода, для чего предлагается новый алгоритм перерасчета (многократный пересчет в разные стороны, с некоторым критерием выбора пути) и доказывается его сходимость;
- на базе технологии стоятся пакеты, например UniCalc;
- вводится новое название «программирование в ограничениях» [34].

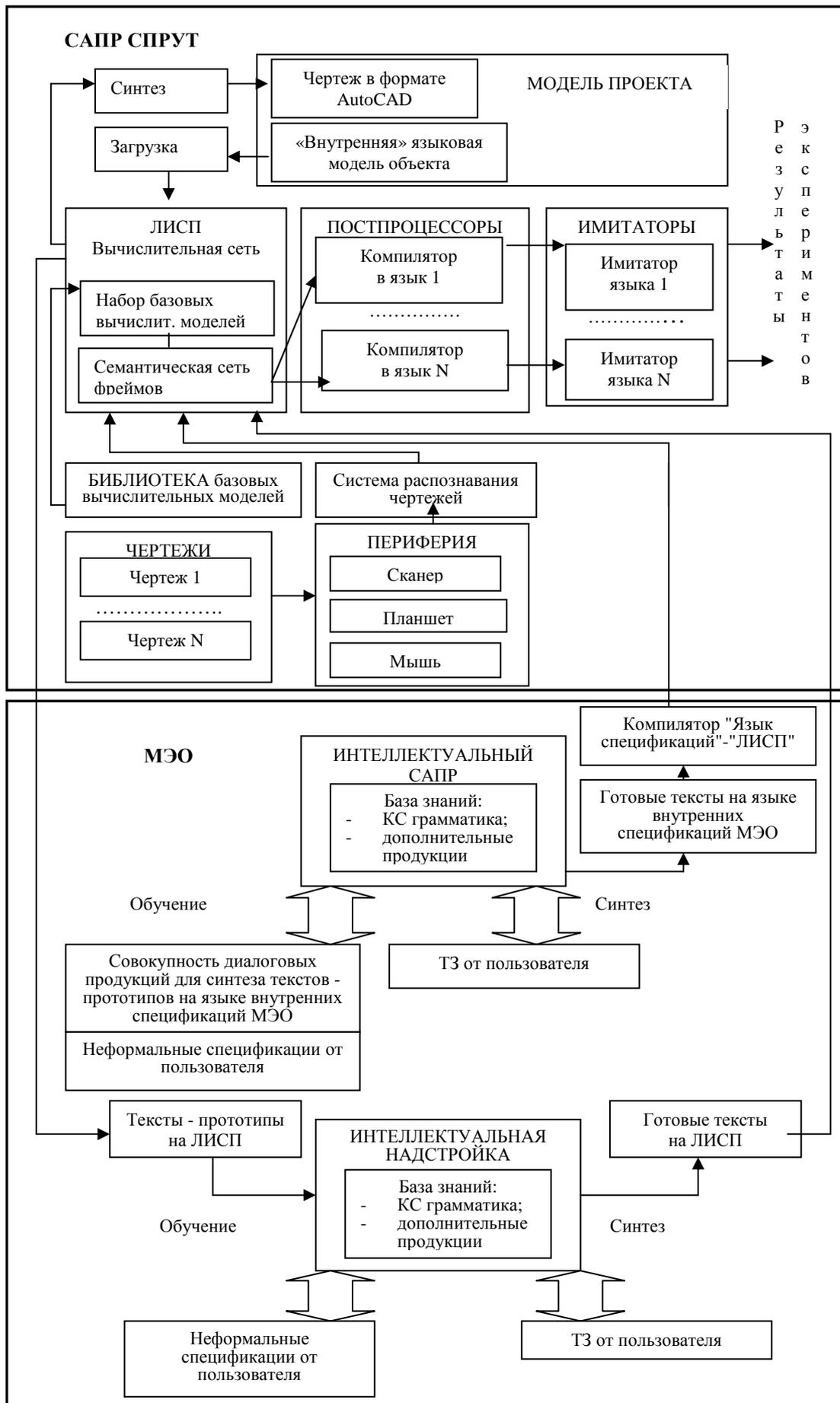


Рисунок 1 – Общая структура САИР СПРУТ

2.2. Вычислительные модели в СПРУТ

2.2.1. Используемый в СПРУТ вариант вычислительных моделей таков:

- постановка задачи: значения «определены», «не определены», сложившиеся в модели объекта проектирования динамически;
- синтез по постановке задачи алгоритма (программы), доопределяющего значения шпаций в фреймах, заданных на языке ЛИСП;
- задачу ставит пользователь, но только в общем виде (уточнить все, что можно), без указания «дано – получить», что типично для программирования в ограничениях;
- система сама автоматически, исходя из сложившейся ситуации, ставит задачу в форме «дано» - «получить» и ищет пути ее решения;
- вычислительная сеть – сеть фреймов, связанных между собой вычислениями, формулы имеют специализированный вид (однородные, простые);
- приложение моделей – решение конкретной математической задачи «параметризация в САПР в условиях задач реконструкции и прямого диалогового проектирования».

2.2.2. Особенности представления вычислительных топологических моделей

Рассмотрим методы параметризации чертежей и математических моделей, принятые в СПРУТ. Различаются такие типы вычислительных топологических моделей для труб: 1) соответствия стыков двух труб, связанных между собой; 2) соответствия стыков одной трубы. Вычислительная топологическая модель включает: 1) список из списков свойств концов труб, таких как: координаты, нормаль и радиус конца, наличие фланца; 2) функциональную модель взаимной зависимости элементов списков. Для случая использования вычислительной сети для расчета геометрических и территориальных свойств элементов структурной модели имеются отличия в способе ее трактовки и применения. Вычислительная модель используется нестандартным путем - не для поиска одного возможного пути решения задачи от данных условий до цели и последующего синтеза программы по структуре и набору базовых соответствий, а для доопределения модели.

Условие задачи ("дано") в данном случае объединяет частично определенные параметры элементов трассы труб, которые могут располагаться как в начале трассы, так и в любом ее месте. Общей целью ("получить"), входящей в постановку задачи, в этом случае, является доопределение всех неопределенных свойств модели до конца. Т.о., на входе вычислительной модели - текст описание объекта, где имеет место неопределенность некоторых параметров модели, а на выходе - модифицированная программа, где часть неопределенных параметров уже доопределена. Программа в данном случае - это ЛИСП файл описания модели. На базе данной программы интерпретатор, составляющий часть системы СПРУТ, формирует описание структуры объекта на языке графических образов, т.е. на языке описания чертежа. Интерпретатор использует библиотеку графических модулей для элементов трассы.

Язык описания модели представляет собой некоторый обобщенный список, включающий в себя в качестве подсписков такие списки: 1) список элементов; 2) список свойств элементов; 3) список связей между элементами. Данный язык списков ссылается на библиотеку базовых соответствий для различных типов связей между элементами. Программа на данном языке по существу и является основой вычислительной модели, поскольку задает все возможные пути определения неопределенных параметров по ранее определенным.

Процесс моделирования на вычислительной сети в такой форме описания представляет собой итерационный процесс многократного прохождения по трассе трубопровода, который заканчивается в том случае, если при прохождении по трассе больше не возможно доопределить не одно свойство элементов. Возможна постановка и частичной цели решения задачи, т.е. отрисовка только части изображений для элементов, имеющих полностью определенный набор геометрических и территориальных соответствий. То есть предполагается, что степень доопределения модели может быть любая. Момент вызова доопределения может специально выбираться пользователем по желанию.

3. Детальное описание метода построения структурной и функциональной модели в СПРУТ

3.1. Структурная и функциональная модель объектов в технологии МЭО

Основой модели объекта проектирования САПР СПРУТ [20,19] является технология описания объектов в технологии МЭО. Система уровней модели предметной области для интеллектуальных САПР в технологии МЭО задана семиотической моделью (СМ) $F = \langle T, C, A, P, r, b, g, d \rangle$. Сигнатура Т СМ предмета любого уровня включает отношения: Блок, Свойство и значение Граница блока, Связь, Среда, Тип, Массив, Шкала, Агрегация, Обобщение, Функция. В состав аксиом А СМ входят:

- 1) глобальные аксиомы N для СМ (ГА"N"), задающие обязательный уровень КМ ПрОб МЭО;
- 2) общие аксиомы N для СМ (ОА"N"), задающие отношение, семантически верное для любого уровня СМ;
- 3) локальные аксиомы N уровня К (ЛА"К.N"), задающие отношение, семантически верное только для одного уровня СМ.

Общие аксиомы СМ

ОА1. $\exists = \{ \exists, B_1, \dots, B_k, Nil \}$, где: *Nil* - неопределенный элемент без имени и структуры; \exists - элемент, обратный к \exists .

ОА2. Для списка $\{B_i\}$ определяется ряд шкал $Ш_j$. Номер "1" имеет \exists и — последний номер — *Nil*. На $\{Ш_j\}$ определяется мера, $d = R(B_{i1}, B_{i2})$.

ОА3. Множество системообразующих блоков, связей, границ и свойств любого уровня включает один элемент с именем в списке декомпозиции типов блоков и типов свойства.

ОА4. Модели подблоков наследуют набор свойств и связей от блока (в соответствии с объектно-ориентированным подходом).

ОА5. Каждому блоку однозначно соответствует "собственное" свойство (потенциал).

ОА6. Множество "новых" связей определяется декартовым произведением всех подблоков, имеющих одни и те же типы (идентификаторы) свойств и расположенных на противоположенных концах "старой" связи.

ОА7. Условие существования связей между блоками: $B_o(d_1, d_2): d_1 < R(B_i, B_j) < d_2$ при всяких B_i, B_j .

ОА8. Совокупность моделей блоков, свойств и связей уровня образует *прототип* модели предмета.

Глобальные и локальные аксиомы СМ

1. ГА1 — уровень исходной модели.

СВЯЗЬ "С0" ПО "NIL"

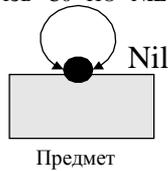


Рисунок 2 - Изначальное представление модели предмета.

Представляет собой необходимый уровень, служащий для создания дальнейшей схемы описания.

2. ГА2 — уровень задания времени - блока и свойства.

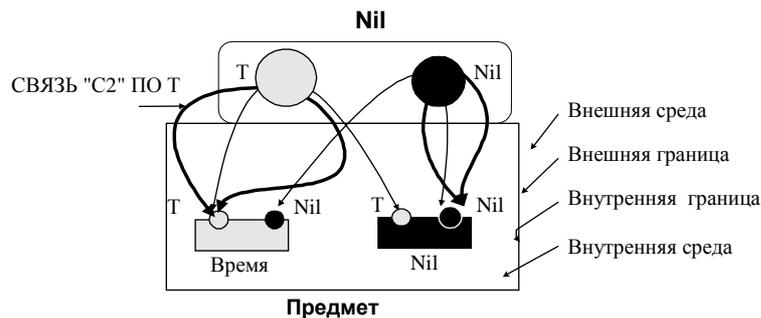


Рисунок 3 - Уровень ввода времени как свойства и блока.

Так же представляет собой необходимый уровень, служащий для создания дальнейшей схемы описания, а точнее - жизненного цикла предмета. Предполагает наличие в среде предмета блока "внутренняя граница". Цель введения такого блока - описание внутренней среды блока, подвергающегося декомпозиции, - как замкнутого комплекса блоков.

3. ГА3 — уровень значений свойства времени и моделей пространств.

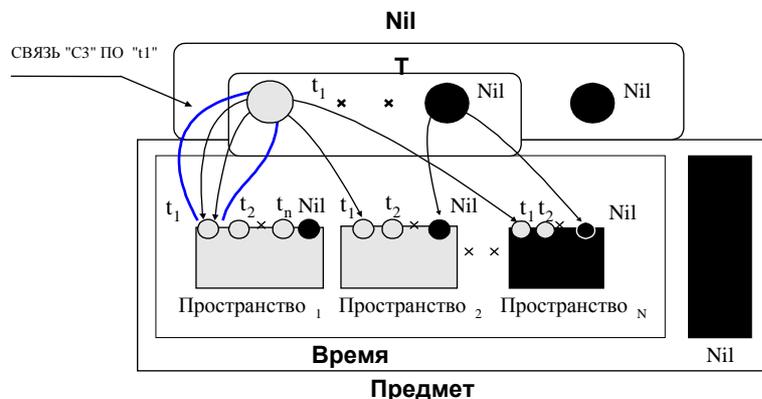


Рисунок 4 - Уровень определения моделей пространств.

Представляет собой уровень ввода множества пространств - моментов времени, задающих жизненный цикл объекта. Определяются связи между пространствами - моментами времени. Число связей определяет глубину зависимости событий по временной оси.

4. ГА4 — уровень точек пространства и их идентификаторов.

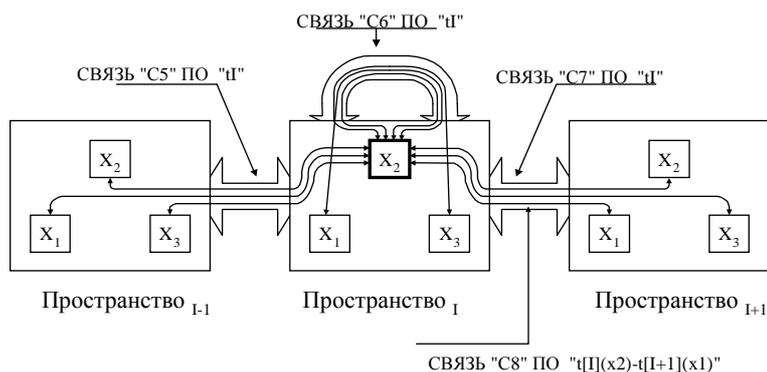


Рисунок 5 - Фрагмент совокупности связей ПТ.

Представляет собой уровень ввода множества пространственных точек для каждого пространства - момента времени. Определяется список связей каждой ПТ с прочими ПТ как из своего пространства, так и из "чужих" пространств. Число связей определяет окрестность, в которой имеется зависимость ПТ друг от друга.

5. ГА5 — уровень «простых» свойств и внутренних функций (ВФ) ПТ.

Представляет собой уровень задания конкретных идентификаторов свойств для пространственных точек. Производит декомпозицию связей между ПТ на связи по свойствам.

6. ГА6 — уровень значений "простых" свойств и "кортежей" функций.

Представляет собой уровень задания конкретных значений для свойств и определения комбинации свойств базового блока как "кортежа" функции (строки из табличной функции).

Комментарий к технологии описания.

1) К общей характеристике модели.

Предлагаемая технология описание моделей объектов ориентирована на:

- структурный уровень;
- функционально-логический уровень, т.е. уровень дискретных значений свойств;
- количественный уровень непрерывных значений, подуровень количественных макромоделей с сосредоточенными параметрами (алгебраические и простые дифференциальные уравнения, рассмотренные с точки зрения численных методов решения) [21];

2) К структурной модели.

В случае отсутствия сведений о жизненном цикле объекта экспертом вводится просто модель объекта для некоторого неопределенного момента времени. Уровень ввода пространственных точек, а так же уровень ввода свойств пространственных точек могут иметь произвольное число подуровней декомпозиции как ПТ на более мелкие ПТ, так и свойств - на более мелкие подсвойства. Особенность структурной модели - явный ввод неопределенного элемента в состав блоков и свойств как основы дальнейшего уточнения модели структур.

3) К модели функций.

Избранный принцип примата микромоделей (т.е. максимально точной модели базового самого детального уровня) над макромоделью (огрубленной моделью вышележащего уровня) [19] в процессе моделирования приводит к тому, что реальные функции сосредоточены только в базовых блоках. Функции определяют зависимость для единственного собственного свойства - потенциала данного базового блока от "чужих" потенциалов, имеющих на границе блока. Функции такого вида представляют собой готовые расчетные схемы для метода вычислительных моделей. Совокупность таких функций составляет полную вычислительную сеть, обеспечивающую произвольный порядок расчета значений свойств базовых блоков друг от друга. Зависимость значений вышележащих свойств, которые ранее были повергнуты декомпозиции на более мелкие структуры данных, от значений базовых свойств задается простым кодированием значений вышележащего свойства некоторой комбинации значений нижележащих свойств. Совокупность таких кодировок для некоторого вышележащего свойства может так же иметь вид функции - расчетной схемы, но предназначенной уже для вычисления значений вышележащих свойств от значений нижележащих свойств.

Прямое задание значения вышележащего свойства есть фактическое задание комбинации значений нижележащих свойств. Конкретные функции, как для базовых блоков, так и для функций - кодировок могут быть получены путем обобщения жизненных циклов или же введены экспертным путем в аналитической форме [21].

3.2. Сеть фреймов в СПРУТ как модель структуры объекта в МЭО.

Совокупности параметров некоторого структурного элемента, рассматриваемых как шпации, объединяются в группы, т.е. фреймы. Фреймы связаны некоторыми отношениями в сеть. Отношения над фреймами делятся на два типа:

- 1) математические формулы, заданные над параметрами, составляющими фрейм;
- 2) отношения агрегации простых фреймов в более крупные фреймы. Простейший фрейм носит наименование «характерная точка» (ХТ).

ХТ - это центр сосредоточения всех функций в структурной модели объектов в САПР. Фактически это – идентифицируемая точка в пространстве, заданная как совокупность трехмерных координат точки и ряда ее свойств. Список свойств ХТ определяется контекстом, где она находится, т.е. устройством.

Пример свойства ХТ трубы: тип стыка (фланец, сварка,...), диаметр, нормаль стыка и т.д. Свойства ХТ – это собственные потенциалы физической точки из модели структур МЭО. Фактически же ХТ - это сложный объект и распадается на ряд базовых блоков (ББ), число которых не меньше числа собственных свойств ХТ. Каждый из таких ББ есть модель расчета некоторого свойства через другие свойства данной ХТ, а так же свойства других ХТ, связанных с данной ХТ. Т.о., имеется ББ "диаметр", "тип стыка" и т.д. Блок "нормаль стыка" сам является сложным блоком и распадается на ряд подблоков, являющихся ББ, задающих функции для расчета координат второго конца единичного вектора, начало которого совпадает с координатами собственно ХТ. Функциональная модель ББ – это базовая функция вычислительной сети.

Функциональная модель ББ задает меру влияния чужих потенциалов на свой. Значения свойств могут присваиваться проектантом при вставке устройства в объект проектирования или определяться автоматически после образования стыков в данной точке с другим устройством. Значение свойства может быть изначально неопределенно. На базе ХТ, как базового фрейма, рассматриваются более сложные фреймы: устройство, объект, проект.

Устройство - это именованная упорядоченная группа ХТ. Устройство имеет дополнительный набор собственных свойств. Устройства делятся по типам и подтипам, они отличаются: типами используемых ХТ, имеющих различный набор свойств; числом ХТ разных типов; набором свойств устройства в целом; типами и числом мат. моделей. Пример устройств: труба прямая, арматура типа 1 и т.д. Структурная модель устройства включает: общий список ХТ, необходимых для ориентации объекта в пространстве и обеспечивающих синтез его графической модели; подсписок ХТ, рассматриваемых как потенциальные точки стыков (ТС) устройств между собой; свойства объекта в целом как ряд дополнительных ХТ.

Функциональная математическая модель устройства связывает между собой пространственные координаты и свойства отдельных ХТ. Функциональная модель устройства есть вычислительная подсеть, связывающая зависимостями свойства некоторой совокупности ТХ.

Структурная модель так же подразумевает наличие некоторой специфической ХТ - внутренней границы блока-устройства. С внутренней границей устройства связана функциональная модель, определяющая зависимость значений свойств внутренних блоков со значение свойства трубы как единого целого. В данном случае таким свойством есть тип трубы "прямая" и т.д. Связи, возникающие между ХТ, составляющими устройство, подчиняются при этом некоторым ограничениям по расстоянию в пространстве некоторых измерений. Различные типы связей, возникающие между ТХ, отличаются: набором измерений, в котором упорядочены ХТ; расстояниями; составом передаваемых собственных потенциалов по связи. Например, рассмотрим тип связи между обычными ХТ и внутренней границей устройства. Тип связи между ХТ в этом случае – не пространственный в обычном смысле слова. Данное пространство это – внутриустройственное пространство. ХТ взаимодействует с устройством, если расстояние между ней и устройством меньше некоторой величины по некоторому измерению, составляющему упорядочивание на шкале «принадлежность к данному устройству». Т.е. расстояние между устройством и его ХТ по измерению «принадлежность к устройству» – «ноль». В этом случае все потенциалы ХТ входят в связь с устройством. Устройство на внешней границе имеет ряд собственных потенциалов, соответствующих потенциалам внутренних ХТ и составляющих возможные точки стыков. Т.о., на внешней границе устройства имеется ряд групп потенциалов, которые можно условно назвать "ХТ". Посредством данных "ХТ" устройство связывается с другими устройствами через точки стыков. Посредством внутренней границы устройства различные ХТ через функцию блока "внутренняя граница" связываются между собой по значениям параметров. На рис. 6 показана упрощенная структурная модель трубы.

Объект есть именованный упорядоченный список связанных между собой устройств. Объект так же имеет список собственных свойств. Возможные типы объектов: трасса трубопровода; набор строительных конструкций. Объектов в проекте может быть множество.

Структурная модель объекта включает: список устройств; список ХТ, необходимых для ориентации объекта в пространстве и синтеза графической модели объекта; подсписок ХТ, рассматриваемых как потенциальные точки стыков (ТС) объекта; свойства объекта в целом.

Функциональная модель объекта есть вычислительная подсеть, связывающая свойства ряда устройств, включая и сам объект, как специфическое устройство. Специфическое устройство (т.е. объект) – это внутренняя граница блока-объекта. Т.о., функциональная математическая модель объекта есть вычислительная подсеть, связывающая модели устройств между собой (включая собственно модель проекта как структурную единицу) посредством точек стыка (ТС).

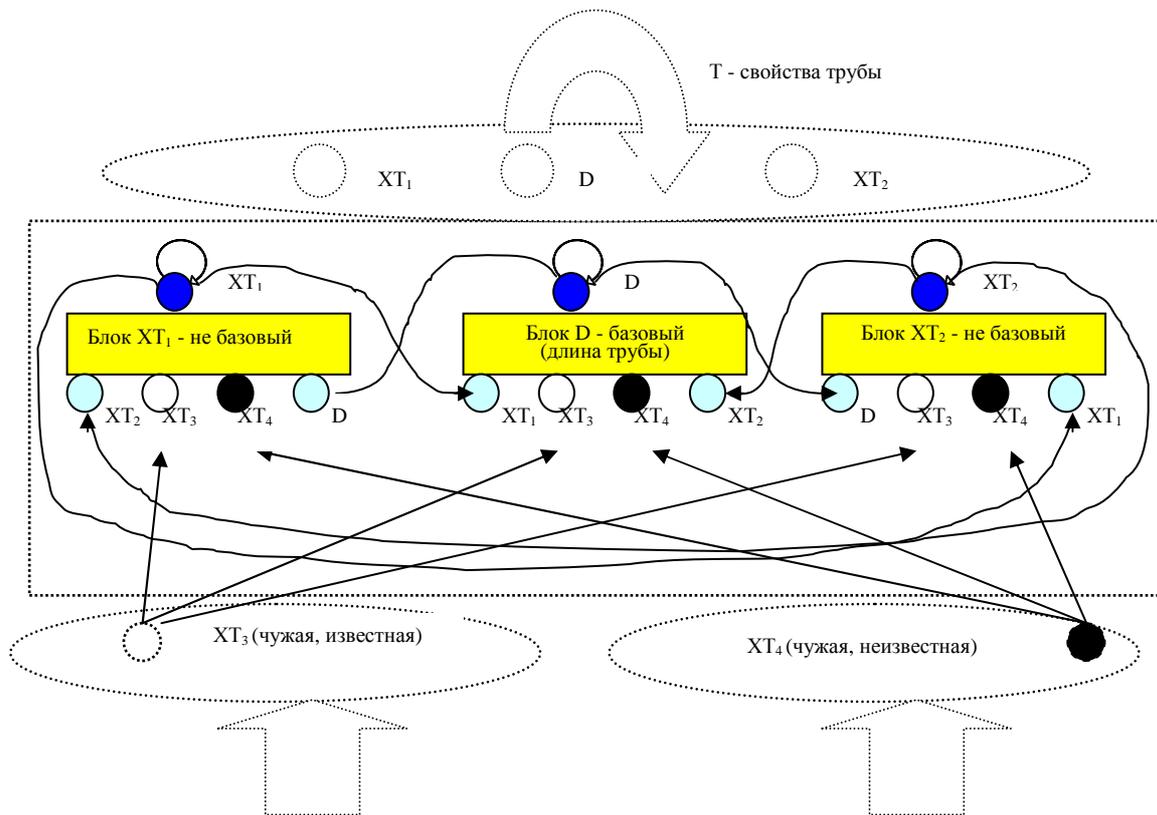


Рисунок 6 - Упрощенная модель структуры трубы

ТС есть отношение эквивалентности для части ХТ некоторых устройств по пространственным координатам. Точка стыка – есть форма зависимости параметров двух ХТ для связанных между собой устройств. Взаимодействие ХТ – это взаимное влияние их свойств друг на друга. Пример зависимостей для труб:

- эквивалентность диаметров;
- эквивалентность типов стыка;
- противоположно направленные нормали.

Т.о., функция ТС есть внутренняя подфункция функциональной модели устройства, соответствующая зависимости собственных параметров некоторой "ХТ", являющейся собственным внешним параметром устройства, с "чужой" ХТ, относящейся к другому устройству. Данная подфункция, т.е. функциональная математическая модель соответствующего ББ выбирается из библиотеки, исходя из комбинации типов состыкованных устройств. Функциональная математическая модель ББ, участвующих в точке стыка, призвана соотнести по значениям все свойства всех состыкованных "ХТ". Число задействованных с двух сторон стыка ББ соответствует числу потенциалов точек стыка устройства.

Проект есть именованный список ряда моделей объектов. Проект так же имеет список собственных свойств. Функциональная математическая модель проекта связывает пространственные координаты, свойства отдельных характерных точек, входящих в устройства, свойства устройств, свойства объектов, как единиц проекта, а так же самого проекта как логической единицы. Примеры проектов: завод, цех, участок и т.д.

4. Язык представления моделей в СПРУТ

4.1. Описание языка представления чертежей

ЛИСП-файл, в котором хранятся данные, представлен в виде S- выражений. Имеется ряд разделов, которые содержат информацию о трубах, оборудовании, арматуре и точках, которые характеризуют координаты объектов. Каждый раздел начинается с двух строк: заголовок раздела; максимальный номер объекта. Заголовок раздела указывает, о каких объектах хранятся данные в этом разделе:

- "TRUB'S-->" - трубы;
- "POINT---->" - точки;
- "OBR----->" - оборудование;
- "ARM----->" - арматура и т.д.

Структура S-выражения для хранения данных о точке задана следующим образом:

(num (X Y) Z DIAM), где:

- num - номер точки;
- X, Y, Z - координаты точки в пространстве;

- **DIAM** - диаметр трубы в этой точке.

Структуру S-выражения для хранения данных о трубе можно представить следующим образом:

(num type (num_end1 n_point (con trub)) (num_end2 n_point (con trub))), где:

- **num** - номер трубы;
- **type** - тип трубы;
- **num_end1, num_end2** - номера концов трубы;
- **n_point** - номер точки для конца трубы;
- **con** - тип связи в этой точке;
- **trub** - номер следующей трубы.

Если тип связи и номер следующей трубы на каком-либо конце трубы не заданы ('nil'), то считается, что труба на этом конце не имеет соединения.

Данные об оборудовании и арматуре хранятся в виде S-выражения следующего вида:

(num "type" point_1 point_2 point_3 point_n), где:

- **num** - номер элемента;
- **type** - тип элемента;
- **point_x** - номер точки соединения.

4.2. Достоинства представления модели в виде сети фреймов как ЛИСП-списка

1) Что дает языковая модель объекта: возможность сохранения и загрузки текстов моделей; интерпретацию текстов на данном языке в чертежи; накопление знаний в виде текстов, создание интеллектуальной надстройки над СПРУТ;

2) Что дает ЛИСП-модель: ЛИСП - это язык фреймов, следовательно, фреймы задаются естественно; любое расширение динамического фрейма (трассы) – это расширение списка в ЛИСП; недоопределенности значений, например, координат, значений свойств, элементов списка трассы и т.п. можно явно задать символом NIL, символом неопределенности в языке ЛИСП.

4.3. Порядок работы вычислительных моделей, привязанных к сети фреймов

Порядок вычислений в вычислительной модели, заданной на сети фреймов, определяется порядком проектирования объектов. Порядок проектирования объектов предполагает такие возможные действия:

1) Продление трассы - наращивание модели объекта (трубопровода) на некотором стыке, т.е. присоединение к нему нового устройства с частично определяемыми пользователем параметрами;

2) Создание новой трассы - создание нового объекта, не связанного ни с чем, ранее введенным;

3) Прямое пользовательское доопределение параметров трассы - прямое определение пользователем одного или нескольких параметров (свойств) некоторой ХТ, которая может быть как стыком нескольких устройств, так и просто висящей ХТ.

Во всех названных случаях предполагается возможной остаточная недоопределенность параметров трассы. Команда «доопределить» вызывает пересчет недоопределенностей в модели каждой трассы.

4.4. Общий вывод по использованию фреймов в СПРУТ

Можно сделать следующий ряд выводов по поводу системы фреймов, как модели структур:

- структурную модель в принципе можно всегда описать сетью фреймов;
- рассматриваемое применение вычислительных моделей в САПР эффективно и актуально, однако необходимо использовать программирования в ограничениях.

Прокомментируем второе требование и покажем, что оно легко выполнимо:

1) По поводу недоопределенности значений: ЛИСП позволяет заменить отдельное неизвестное значение списком ограничений.

2) По поводу системы отношений, связывающих свойства характерных точек: форма отношений не изменяется, меняется процесс интерпретации системы недоопределенностей на систему интерпретации системы ограничений.

Следует отметить, что применение языка фреймов, в том числе и на ЛИСПЕ или ЛИСПО-подобном языке (OPS5 и SRL и т.п.) для описания структур не есть новое решение. Для примера можно назвать, например систему DECADE [35]. Отличие состоит в том, что фреймы описывают структуру, имеющую некоторую специфику представления (т.е. неопределенности и интервалы значений). Можно сделать вывод, что фреймовый подход оправдывает себя и в этом случае.

5. Особенности представления графических моделей

Структура графических моделей для различных типов элементов, входящих в различные библиотеки, может быть показана на примере моделей труб. Графическая модель трубы любого типа включает в себя такие составляющие:

1. Список из списков свойств характерных точек изображения, в данном случае - концов труб; список свойств включает: трехмерные координаты, нормаль и радиус конца, наличие фланца (часть топологической модели);

2. Список плоских 4-угольных поверхностей, составляющих изображение; каждая поверхность представлена списком своих свойств, куда входят трехмерные координаты углов и признаки видимости/невидимости отдельных ребер;

3. Функциональную модель зависимости количества 4-гранных поверхностей и их свойств от значений элементов списка свойств характерных точек;

4. Механизм отрисовки поверхностей по их свойствам.

5. Вектор направления точки зрения на чертеж;

6. Вектора точки зрения на объект.

Имеется библиотека модулей синтеза проекций трехмерных объектов с заданной точки зрения по характерным точкам изображения и определенным между ними связям. Синтез изображений осуществляется на основе "сборки" проекции из плоских четырехугольников с видимыми и невидимыми краями. Кривые аппроксимируются отрезками, представляющими собой видимые грани четырехугольников, с некоторым заданным шагом. Для построения графических образов используются методы дифференциальной геометрии. Знания о данных методах в этом случае так же представлены в виде ЛИСП-программ. Т.о., с этой точки зрения - СПРУТ есть гибридная система, использующая наряду с интеллектуальными методами представления знаний и обычные формы представления моделей.

6. Программная реализация СПРУТ

Общее меню программы и состав команд для работы с внутренней математической моделью объекта показаны на рис. 7 и 8.

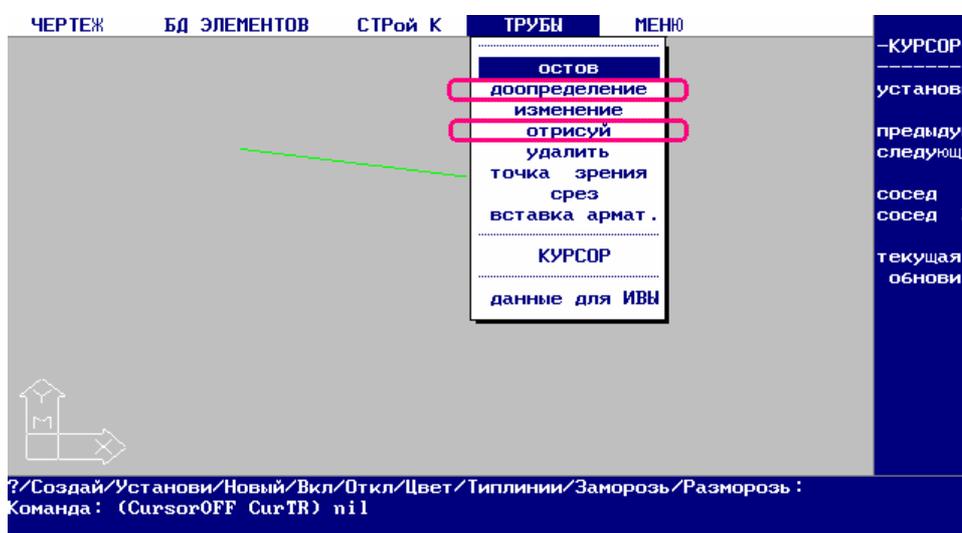


Рисунок 7 – Командное меню системы СПРУТ

«Отрисовать» – группа команд синтеза изображения трубопровода по заданному остоу. «Доопределить» – группа команд доопределения типа и параметров отдельных труб и арматур, составляющих остов. Доопределение вызывается автоматически, если невозможно отрисовать трубу или вручную по вызову пользователя. В случае использования вычислительной сети для расчета функциональных свойств элементов сети целью является сам процесс прослеживания (трассировки) изменения свойств. "Данные для ИВЫ" - команда формирования языкового файла для САПР прочностных и теплофизических расчетов ИВА. Возможности графической модели СПРУТ обеспечивают стандартные функции: выбор точки зрения, регулирование "скрытый - видимый" и т.д.

Заключение

В системе СПРУТ:

1) Реализована предлагаемая концепция МЭО на количественном модельном уровне представления знаний об объекте за счет организации ряда интерфейсов с другими проблемно-ориентированными САПР;

2) Доказана возможность применения данного подхода для структурного и логического уровней представления моделей данной предметной области;

3) реализован механизм семантических сетей фреймов на языке ЛИСП как внутренняя форма представления моделей объектов, а так же механизм вычислительных сетей, определенный над внутренней формой представления моделей объектов, необходимый для независимого от процессов продукционного вывода редуцирования неопределенностей в модели;

4) Реализована та часть предлагаемой общей структуры БЗД, которая связана с библиотекой БС, как части внутренней модели объекта;

5) На основе данного подхода дано новое решение задачи реконструкции сложных технических объектов;

6) Предложен вариант нового структурно-лингвистического метода распознавания видеобразов, применяемый для построения моделей ранее спроектированных объектов, ориентированный на работу в условиях погрешностей выполненных вручную чертежей и их большого количества, отличающийся грамматикой формального языка для описания признаков изображений и их связей, выбором набора признаков и подходом к трактовке семантических образов элементов;

7) На примере организации интерфейса с системами ИВА/ASTRA реализован метод создания ряда постпроцессоров с языка внутреннего представления модели в языки внешних систем моделирования для количественного анализа синтезированной модели объекта.

8) Предложен новый тип вычислительных моделей, отличающийся:

- формой представления исходных и выходных параметров задачи,

- способом формирования и назначением синтезируемой программы, ориентированных на доопределение геометрических и территориальных свойств элементов моделей объектов количественного уровня САПР по ранее определенным свойствам с целью формирования описания их чертежей.

Предлагаемые решения позволяют расширить концепцию МЭО за счет методов и средств работы с графическими объектами.

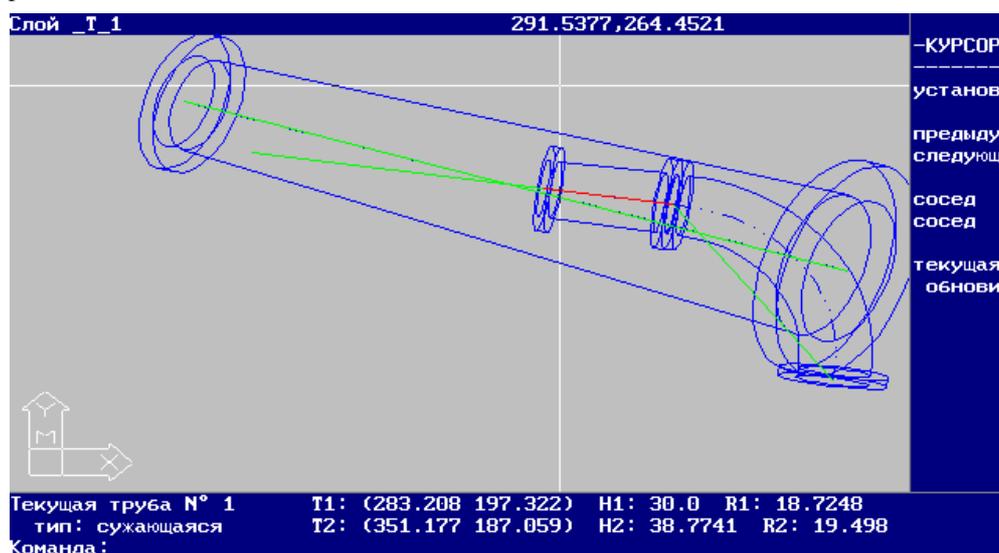


Рисунок 8 – Процесс отрисовки трубопровода по остову

Литература

1. Профессиональная система автоматизированного проектирования, черчения и твердотельного моделирования с мощными параметрическими возможностями // www.tfex.ru.
2. Иванов А.А, Маскова В.В., Рыжов А.П. Cadence Design System, методология и средства проектирования систем на кристаллах. В кн. Труды Международной научно-технической конференции "Интеллектуальные системы (IEEE AIS'2004)" и "Интеллектуальные САПР" (CAD-2004). Научное издание в трех томах. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2004, Т.2, С.45-55.
3. Мигунов В.В. Особенности комплексной САПР реконструкции промышленных предприятий. В кн. Труды Международной научно-технической конференции "Интеллектуальные системы (IEEE AIS'2004)" и "Интеллектуальные САПР" (CAD-2004). Научное издание в трех томах. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2004, Т.2, С.70-74.
4. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект - основа новой информационной технологии. - М.: Наука, 1988. - 280 с.
5. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. - М.: Финансы и статистика, 1987. - 197 с.
6. Латомб Ж.К. Искусственный интеллект в автоматизированном проектировании: Система "Тропик" // Системы автоматизированного проектирования: Мат. конф. IFIP по системам автоматизированного проектирования / Под ред. Дж.Аллана. - М.: Наука, 1986. - С. 62-110.
7. Maher M.L. Hi-Rise and beyond: Directions for expert systems in design // Computer-Aided Design.-1985. - Vol. 17, N 9. - P. 420-427.
8. Maher M.L. Hi-Rise and beyond: Directions for expert systems in design // Computer-Aided Design.-1985. - Vol. 17, N 9. - P. 420-427.
9. DOMINIC: A Domain Independent Program for Mechanical Engineering Design /A.Howe, P.Cohen, I.Dixon, M.Simons II Expert Systems in Engineering / Ed. D.T.-Pham. - Berlin: Springer Verlag, 1988. - P. 361-371.
10. Hutchinson P.J., Rosenman M.A., Gero J.S. RETWALL: An expert system for the selection and preliminary design of earth retaining structures // Knowledge-Based Systems. -1987. -Vol. 1, N 1. - P. 11-23.
11. Интеллектуальные системы принятия проектных решений / А.В.Алексеев, А Н Борисов, Э.Р.Вилломс, Н.Н.Слядзь, С.А.Фомин. - Рига: Зинатне, 1997. - 320 с.

12. 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.
13. Григорьев А.В. Унифицированная концептуальная модель предметной области. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-97). Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. С.218-224.
14. 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.
15. Григорьев А.В. Теоретико-множественные операции над грамматиками как механизм работы со знаниями в интеллектуальных САПР. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, N 2(48). Луганск, ВУТУ, 2002. С. 186-194.
16. Григорьев А.В., Каспаров А.А. И/ИЛИ-дерево как средство абстрактного представления знаний. Наукові праці національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». Выпуск 39: Донецк: ДонНТУ, 2002. - С.36-42.
17. Григорьев А.В. Адаптивная система ограничений на сложность при синтезе новых решений в интеллектуальных САПР. Искусственный интеллект. N 2, 2001, С. 152-167.
18. А.В. Григорьев. Организация пространства поиска решений в специализированной оболочке для создания интеллектуальных САПР. Вісник ТРТУ-ДонГТУ. Материали 2-го міжд. н.-т. семінара "Практика і перспективи інституціонального партнерства". Донецк, ДонГТУ, 2001, N1, С.57-68.
19. Григорьев А.В. Представление недоопределенности знаний в инструментальной оболочке для построения САПР. Искусственный интеллект. N 6, 1999, С. 56-66.
20. Григорьев А.В. Комплекс моделей САПР как система взаимосвязанных уровней о действительности. Научные труды Донецкого государственного университета. Серия "Информатика, кибернетика и вычислительная техника", (ИКВТ-2000) выпуск 10. - Донецк, ДонГТУ, 2000. - С. 155-167.
21. Григорьев А.В. Решение дифференциальных уравнений в интеллектуальных САПР методом программирования в ограничениях. В кн. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 70. Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка": - Донецьк: ДонНТУ, 2003 - С. 108-116.
22. Григорьев А.В. Классификация типов продукций в интеллектуальных САПР / Наукові праці національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Выпуск 88. - Донецк: ДонНТУ, 2005. - С. 99-105.
23. Григорьев А.В. Пути создания интеллектуальных САПР при различных уровнях квалификации экспертов /Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект», №3, 2005. - Донецк: ИПИИ МОН и НАН Украины «Наука и образование», 2005. - С. 758-763.
24. Григорьев А.В. Упорядочивание обликков в семиотической модели САПР /Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект», №4, 2005. - Донецк: ИПИИ МОН и НАН Украины «Наука и образование», 2005. - С. 465-477.
25. Григорьев А.В. Организация проблемно-ориентированной базы знаний в САПР трубопроводов. Международная научно-методическая конференция "Автоматизация проектирования и производства в машиностроении". - Киев.: ИСИ ОУ, 1995. - С. 49-50.
26. Григор'їв О. Один підхід до організації баз даних і знань у проблемно-орієнтованих САПР. 5-та Міжнародна науково-практична конференція "Україно-мове програмне забезпечення УкрСофт-95". - Львів.: ДУ "Львівська політехніка", 1995. - С. 100.
27. Григорьев А.В. Автоматизированная система проектирования трубопроводов. Доклады региональной научной конференции "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность". Секция 4 "Актуальные проблемы вычислительной техники, информатики и энергетики". Часть 1.- Донецк: ДонГТУ, 1995. - С.49-50.
28. Григорьев А.В. Метод распознавания образов для задач реконструкции сложных технических систем. В кн. "Современные проблемы машиностроения и технический прогресс. Тезисы докладов международной научно-технической конференции. 10-13 сентября 1996 г., г. Севастополь. - Донецк: ДонГТУ. С.59.
29. Григорьев А.В., Базалей А.О., Юрченко С.В. Особенности реализации системы автоматизации построения интеллектуальных САПР и АСНИ. В кн. "Современные проблемы машиностроения и технический прогресс. Тезисы докладов международной научно-технической конференции. 10-13 сентября 1996 г., г. Севастополь. Донецк: ДонГТУ. С. 60.
30. Григорьев А.В. Распознавание образов в задачах реконструкции сложных технических систем. В кн. "Сборник трудов факультета вычислительной техники и информатики. Выпуск 1. Донецкий государственный технический университет, - Донецк: ДонГТУ, 1996. - С. 153-156.
31. Григорьев А.В. Инвариантные интеллектуальные средства САПР и АСНИ. В кн. "Сборник трудов факультета вычислительной техники и информатики. Выпуск 1. Донецкий государственный технический университет, - Донецк: ДонГТУ, 1996. - С. 157-160.
32. Тыгу. Э.Х. Концептуальное программирование. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. - 256 с. - (Проблемы искусственного интеллекта).
33. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системах представления и обработки знаний // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1986. -№ 5. - С. 3 - 28.
34. А.С.Нариньяни, В.В. Телерман, Д.М. Ушаков, И.Е. Швецов Программирование в ограничениях и недоопределенные модели. // Информационные технологии. 1998. - № 7. - С. 12-20.
35. DECADE: A Hybrid Expert System for Catalyst Selection. Part I: ExpertSystem Considerations / R.Banares-Alcantara, E.I.Ko, A.W.Westerberg, M.D.Rychenerll Comput. and Chem. Eng. -1987. -Vol. 11, N 3. - P. 265 - 277.