


Московский государственный технический университет  
им. Н. Э. Баумана



Григорьев В. П., Камышная Э. Н.,  
Нестеров Ю. И., Никитин С. А.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В САПР  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ  
АППАРАТУРЫ**

Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана  
1998 г.

ББК 32.844  
А47

Рецензент д.т.н., профессор А.С.Чижов

А47 Григорьев В.П., Камышная Э.Н., Нестеров Ю.И.

Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологических процессов производства электронной аппаратуры: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1998. - 48 с., ил.

Изложены вопросы применения методов искусственного интеллекта в САПР технологического проектирования. Приведены примеры построения интеллектуальной системы конструкторско-технологического проектирования банка технологических знаний, интеллектуальной системы моделирования технологических комплектов.

Для студентов 3-5 курсов.

Ил. 13      Табл. 3      Библиогр. 23 назв.

## **1. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Особенность проектирования технологических процессов (ТП) производства электронной аппаратуры (ЭА) заключается в следующем: с одной стороны, знания специалистов-технологов носят существенно эвристический характер, с другой стороны, допустимо большое число вариантов изготовления одного и того же изделия, при этом выбор структуры и параметров ТП основан больше на понятийных соображениях, формируемых словесно, чем на эмпирических, вероятностных или интервальных математических соотношениях.

Указанная особенность определила необходимость привлечения методов искусственного интеллекта (ИИ) для таких трудноформализуемых задач как проектирование ТП производства ЭА, а наиболее адекватным средством его автоматизации являются интеллектуальные системы, принцип работы которых обеспечивает возможность решения даже трудноформализуемых задач.

Системы ИИ - это системы, для решения неформализуемых задач:

- задачи, которые не могут быть выражены в числовой форме (смысловые и логические задачи);
- задачи, в которых нет четкой целевой функции;
- задачи, для которых не существует жесткого алгоритма решения (многие задачи структурного синтеза).

### **1.1 Методы структурного и параметрического синтеза.**

Задачи синтеза относятся к одной из тех областей, где наиболее эффективно используются методы ИИ.

Характерной особенностью этих задач является необходимость многократного принятия решений в процессе их реализации. Поскольку эти решения неоднозначны и во многом определяются опытом разработчика, результаты, синтеза тоже неоднозначны. На Рис. 1.1 представлена классификация методов синтеза [1]. Эти методы можно разделить на две основные группы: оптимизационного и генерационного синтеза.

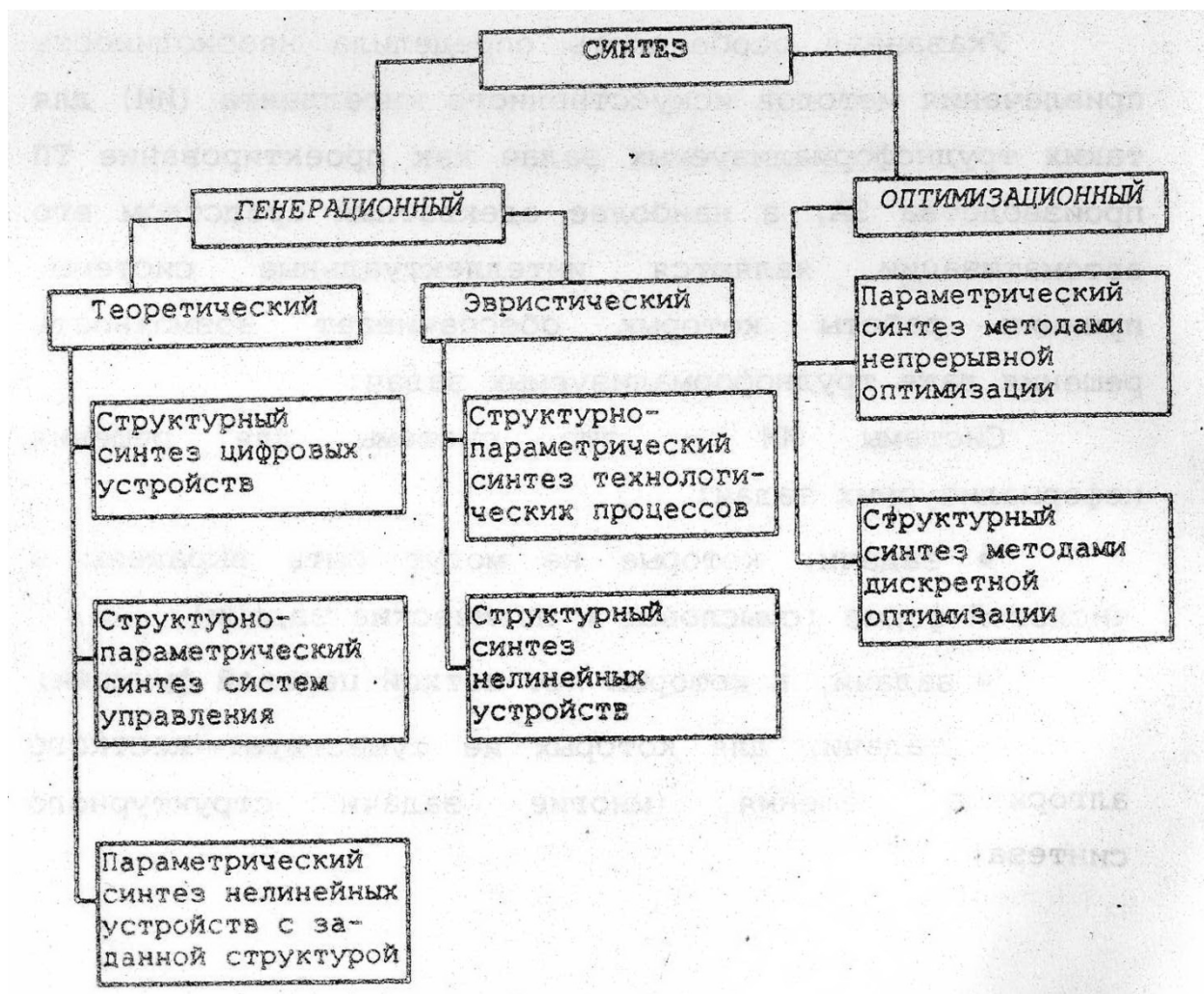


Рис. 1.1 Классификация методов синтеза

Оптимизационный синтез состоит в том, что сначала разработчик сам задает начальный вариант проектируемого объекта, т.е. задает его структуру и параметры. Если после расчета и анализа математической модели (ММ) этого начального варианта окажется, что характеристика технического объекта (ТО) отличается от требуемых, то изменяются сначала параметры, а если это не помогает, то и структура ТО в соответствии с каким-либо методом оптимизации. Каждый шаг оптимизации требует повторного моделирования, расчета и анализа объекта. Областью применения оптимального синтеза является в основном синтез параметров, для которого можно использовать классические непрерывные методы оптимизации.

Задачи структурного синтеза можно решать лишь методами дискретной оптимизации, сводящимися в большинстве случаев к направленному перебору, требующих еще больших затрат времени, чем непрерывная оптимизация.

Генерационный синтез в отличие от оптимизационного, состоит не в последовательном улучшении первоначального варианта объекта, а в создании



(генерации) сразу модели работоспособности объекта.

Наиболее распространенная разновидность генерационного синтеза может быть названа эвристическим синтезом. Большинство задач синтеза, в том числе для технологических процессов, решается именно этим способом. Эвристический синтез допускает множество альтернативных решений, поскольку в нем важную роль играет выбор исполнителем того или иного способа синтеза, включая выбор типа элементов, из которых должен состоять ТО, способа их соединения, способа расчета параметров.

Методы структурного синтеза. Синтез ТО и ТП обычно включает три этапа: выбор типовых элементов структуры (синтез базиса); построение структуры (структурный синтез); параметризация элементов структуры (параметрический синтез).

Выбор типовых элементов структуры выполняется обычно эмпирически. В качестве способа формализации этого этапа можно использовать матрицу «элементы-свойства» [1]. Строкам этой матрицы соответствуют различные альтернативные элементы, выполняющие одни и те же функции, а столбцам – свойства этих элементов, важные для проектируемого ТО. В каждой клетке  $a_{ij}$  этой матрицы по бальной системе проставляется экспертная оценка  $j$ -го свойства  $i$ -го элемента. Анализ этой матрицы проектировщиком позволит составить наглядное и достаточно полное представление о приемлемости того или иного элемента.

Структурный синтез редко бывает полностью независим от параметрического, обычно выбор структуры и определение параметров ее элементов тесно связаны, составляя вместе структурно-параметрический синтез. Тем не менее структурный синтез можно выполнять независимо от параметрического в тех случаях, когда формирование определенной структуры объекта является необходимым условием его работоспособности, а параметры обеспечивают лишь более высокое качество функционирования ТО.

Рассмотрим типовые приемы структурного синтеза [1]:

1. Выбор из готовых структур-прототипов. Этот прием предполагает наличие библиотеки готовых структур. Основной недостаток – необходимость прямого перебора всех структур. Если подобрать полностью подходящую структуру не удастся, выбирают наиболее близкую и модифицируют ее под заданные требования путем удаления или добавления новых элементов, введения дополнительных или исключения ненужных связей и т.д.
2. Построение частной структуры из общей. В этом случае сначала создают структуру с максимальной избыточностью, являющуюся обобщением всех известных,

структур ТО данного типа. Нужная структура синтезируется путем удаления лишних элементов и связей обобщенной структуры. Этот прием традиционно используется при синтезе технологических процессов, когда обобщенный процесс представляет собою цепочку всех технологических операций, применяемых для изготовления объекта данного класса, а синтез состоит в выборе из этой цепочки только тех операций, которые нужны в каждом конкретном случае. Поскольку такой выбор выполняется самим разработчиком на основе своего опыта, этот прием, как и предыдущий относится к методам эмпирического синтеза.

3. Направленный поиск по И-ИЛИ дереву. Этот прием можно рассматривать как специальный случай построения частной структуры из общей. В качестве общей структуры выступают заранее составленное И-ИЛИ дерево, в котором каждая группа путей от корневой вершины через вершины И, ИЛИ до терминальных вершин соответствует одночастотной структуре (Рис. 1.2). На Рис. 1.2 представлено дерево И-ИЛИ, в котором 1,4,5,6 – вершины И; 2,3,8,9 – вершины ИЛИ, 10-16 – терминальные вершины. В принципе строить дерево И-ИЛИ необязательно, достаточно иметь дерево декомпозиции И, в каждой вершине которого нужно программно проверять альтернативные возможности реализации, задаваемые списком этих реализаций и списком ограничений.

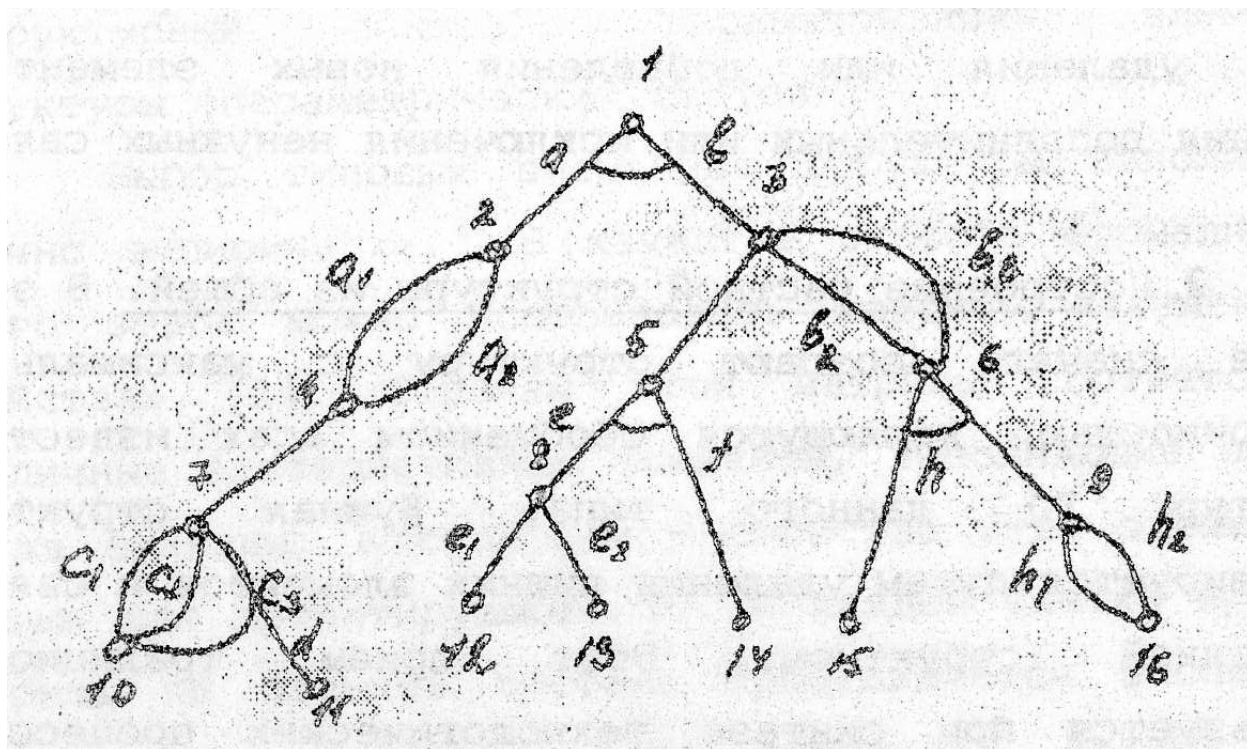


Рис. 1.2 Дерево И-ИЛИ

Проверка этих ограничений означает, что синтез носит структурно-параметрический характер, поскольку в процессе синтеза отбираются элементы с

определенными значениями параметров.

4. Направленный поиск по дереву состояний и свойств. Структурно-параметрический синтез можно выполнить и с помощью дерева состояний и свойств (Рис. 1.3).

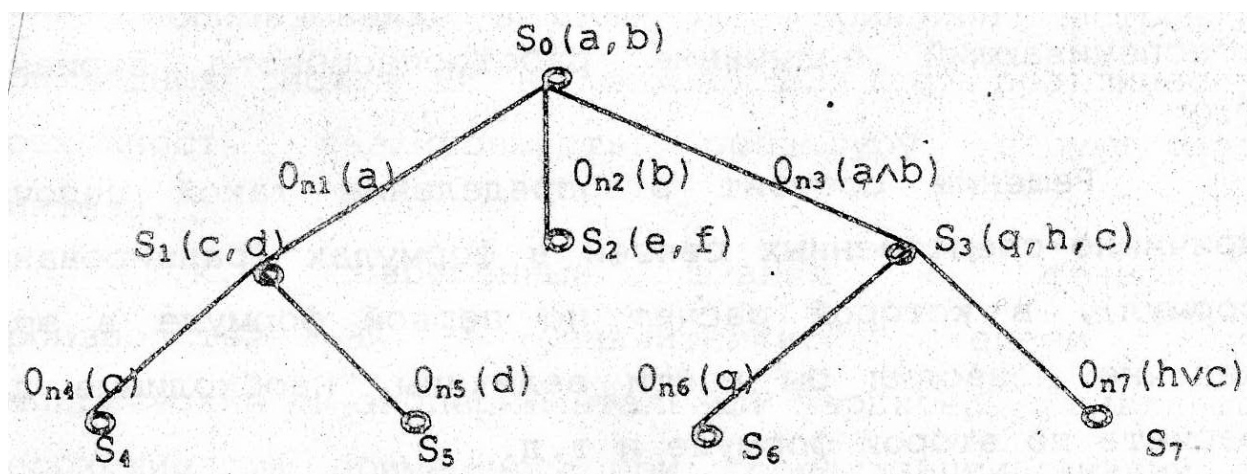


Рис. 1.3 Дерево состояний и свойств

Каждая вершина  $S_i (a_i, \dots, a_n)$  в этом дереве трактуется как задача, возмездное решение которой обладает свойствами  $a_i, \dots, a_n$ , а каждый оператор перехода  $O_{ni}$  имеет смысл [1]: «Если решение задачи  $S_{i-1}$  должно обладать свойством  $a$ , то перейти к решению  $S_i$ ».

Рассмотрим методику синтеза. Пусть известно, что решение должно одновременно удовлетворять свойствам  $a, b, h, c$ . Нужно найти терминальную вершину, имеющую указанные свойства. Решение заключается в поиске пути от  $S_0$  к той терминальной вершине, которая обладает указанными свойствами  $a, b, h^c$ . Очевидно, что в данном случае имеем  $S_1(a^b c), S_5(a^b d), S_2(b), S_6(a^b b^g), S_7(a^b b^h c)$ , и решение должно привести в  $S_7$ . Приведенный пример иллюстрирует некоторые характерные особенности обработки знаний в ИИ при использовании дерева состояний.

Параметрический синтез. После синтеза структуры (если она не сопровождалась синтезом параметров) выполняется параметрический синтез. Вариант синтеза путем решения задачи оптимизации широко описан в литературе, поэтому здесь мы рассмотрим генерационный параметрический синтез, т.е. расчет параметров по системе формул или уравнений, сразу, без оптимизации, обеспечивающий получение работоспособного варианта Т.О.

Решение состоит в определении такой цепочки причинно-следственных связей в формулах (ранжирование формул), в которой расчет по первой формуле в этой цепочке позволил бы найти величины, необходимые для расчета по второй формуле и т.д.

По существу, данная задача состоит в планировании вычислений. Алгоритмы и

программы, решающие эту задачу, в теории ИИ получили название концептуальных решателей или планировщиков.

## **1.2 Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологических процессов.**

Один из основных принципов интеллектуализации САПР – это выделение из общего объема закладываемых в САПР знаний определенной динамичной и легко изменяемой части, которая представляется в ЭВМ, не в виде программ на машинном языке, а в виде базы знаний.

База знаний (БЗ) – это совокупность информационных сведений о предметной области [2], которые:

- структурированы, т.е. представлены в памяти ЭВМ в виде системы данных со сложной структурой;
- интерпретируемы, т.е. применяются в процессе решения задачи путем интерпретации программы на ЭВМ;
- активны, т.е. содержат формализованные описания, свойств объектов из предметной области и правила использования этих описаний для принятия решений и получения новых описаний свойств и объектов.

Использование в САПР ТП принципа построения прикладных систем ИИ на основе БЗ дает практическую возможность реализовывать процедуру структурного синтеза.

Т.к. современные знания о технологии производства ЭА в значительной степени носят эмпирический и экспериментальный характер, появляется необходимость применения при формализации знаний по структурному синтезу наборов эвристик.

Метод структурного синтеза ТП на основе представления знаний должен обеспечивать построение плана ТП в виде системы – набора технологических приемов с необходимой структурой. В этом заключается его принципиальное отличие от методов вывода заключений, советов и рекомендаций, применяемых в обычных экспертных системах.

Параметрическую настройку плана ТП также целесообразно реализовывать на основе принципов ИИ, например, формализовать знания, необходимые для осуществления настройки параметров, со знаниями по структурному синтезу.

Оптимизация плана ТП, целью которой обычно является снижение общей трудоемкости и материалоемкости ТП, комплексное повышение степени загрузки

оборудования производственных участков и цехов, может быть реализовано на основе формализации эмпирических знаний экспертов путем генерации вариантов структур и выбором наилучшего из них.

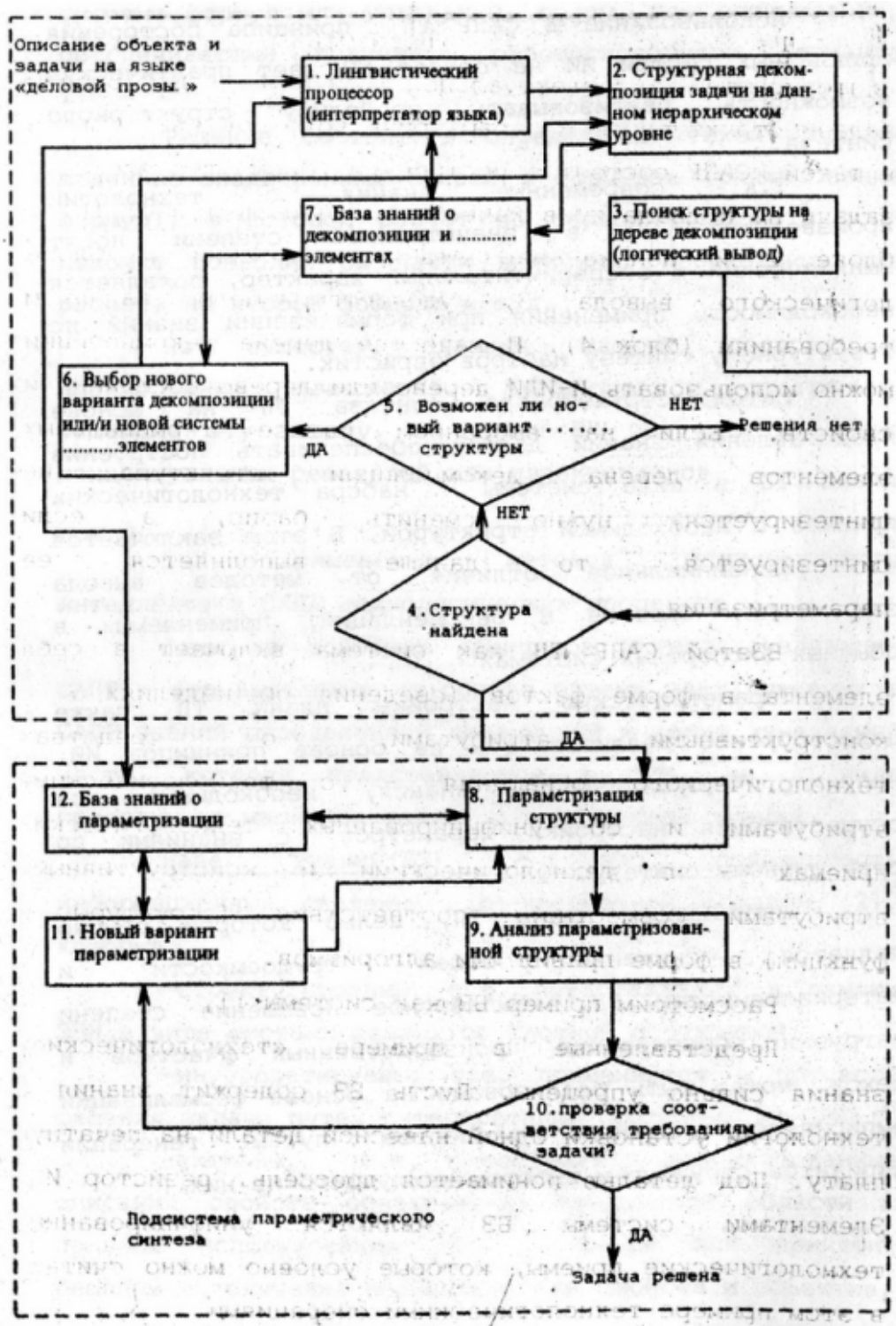


Рис. 1.4 Структура синтезирующей интеллектуальной САПР

На рис. 1.4 представлена структура синтезирующей интеллектуальной САПР[1]. Она решает задачи структурного и параметрического синтеза. Синтез в такой ИСАПР состоит в построении дерева декомпозиции задачи на подзадачи (в качестве задачи

выступает ТП) в блоке 2 и поиске варианта декомпозиции в блоке логического вывода 3, удовлетворяющего заданным требованиям (блок 4). В качестве дерева декомпозиции можно использовать И-ИЛИ дерево или дерево состояний и свойств. Если на выбранном базисе терминальных элементов дерева декомпозиции структура не синтезируется, нужно сменить базис, а если синтезируется, то дальше выполняется ее параметризация.

БЗ этой САПР ТП как система включает в себя элементы в форме фактов (сведения об изделиях – с конструктивными атрибутами, о средствах технологического оснащения – с технологическими атрибутами, и об унифицированных технологических приемах – с технологическими и конструктивными атрибутами совместно), соответствия (структуры и функции) в форме правил или алгоритмов.

Рассмотрим пример БЗ как системы [1].

Представленные в примере «технологические» знания сильно упрощены. Пусть БЗ содержит знания о технологии установки одной навесной детали на печатную плату. Под деталью понимается дроссель, резистор ИС. Элементами системы БЗ являются унифицированные технологические приемы, которые условно можно считать в этом примере технологическими операциями.

Введем в рассмотрение следующие термины и определения:

множество имен элементов – технологических операций:

$N = \{\text{лужение, формовка -1, формовка -2, монтаж}\}$

множество системных атрибутов:

$A = \{\text{номер операции, деталь, материал, оснастка}\}$

домены системных атрибутов:

$M(\text{номер операции}) = \{0,10; 0,15; 0,20\}$

$M(\text{деталь}) = \{\text{наим. резистор, наим. дроссель, наим. ИС, тип ДЛТ-0,125, тип МЛТ-0,25, тип МЛТ-0,5, корпус тип 2, корпус тип 2120}\}$ .

$M(\text{материал}) = \{\text{припой ПОС-40, припой ПОС-61, флюс ФКТ, флюс ФКСП}\}$ .

$M(\text{оснастка}) = \{\text{приспособление П.001, приспособление П.002, штамп Ш.001, штамп Ш.002}\}$ .

Предполагается, что описание операции формовки резисторов (формовка-1) отличается от описания операции формовки ИС (формовка-2), что установка дросселя в отличие от установки ИС или резистора требует только одну операцию монтажа. ТП установки резистора или ИС включает три операции – лужение, формовку (первую или вторую соответственно) и монтаж.

В таблицах 1.1...1.3 заданы, остальные компоненты системы БЗ. Таблица 1.1 содержит атрибуты унифицированных операций  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_{16}\}$ , для которых определены области их возможных значений.

Таблица 1.2 содержит функциональный график целевой функции  $P = \{P_1\}$ , которая задает правила структурного синтеза единичного ТП; где  $r(a)$ — единичное значение атрибута  $a$  из области допустимых значений  $r(a) \in R(a)$ . Смысл табл. 1.2 следующий: для того, чтобы успешно синтезировать структуру ТП, необходимо выбрать одну из трех допустимых комбинаций значений, указанных в табл. 1.1 атрибутов элементов, так как среди этих атрибутов элементов всегда имеется атрибут, описывающий изделие ( $e_1$  или  $e_{14}$ ), то по существу табл. 1.2 задает структуру ТП как функцию от наименования детали.

### Множество атрибутов БЗ

Таблица 1.1

Имя элемента	Системный атрибут	Атрибут элемента	Область допустимых значений атрибута элемента
Лужение	Деталь	e <sub>1</sub>	Наименование ИС, наименование резистора. 010. Припой ПОС-40. Флюс ФКТ, флюс ФКСП.
	Номер операции	e <sub>2</sub>	
	Материал	e <sub>3</sub>	
	Материал	e <sub>4</sub>	
Формовка-1	Деталь	e <sub>5</sub>	Наименование резистора. 015. Приспособление П.001, приспособление П.002. Тип МЛТ-0,125, тип МЛТ-0,25, тип МЛТ-0,5.
	Номер операции	e <sub>6</sub>	
	Оснастка	e <sub>7</sub>	
Формовка-2	Деталь	e <sub>8</sub>	015. Наименование ИС, Штамп Ш.001, штамп Ш.002. Корпус тип 2, корпус тип 2120.
	Номер операции	e <sub>9</sub>	
	Оснастка	e <sub>10</sub>	
	Деталь	e <sub>11</sub>	
Монтаж	Номер операции	e <sub>12</sub>	0,10; 0,20. Наименование резистора, наименование ИС, Припой ПОС-40, припой ПОС-61. Флюс ФКТ.
	Деталь	e <sub>13</sub>	
	Материал	e <sub>14</sub>	
	Материал	e <sub>15</sub>	

### Целевая функция БЗ

Таблица 1.2

Область отправления функции								Значение функции P <sub>i</sub>
Атрибуты				Значения атрибутов				
a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	r(a <sub>1</sub> )	r(a <sub>2</sub> )	r(a <sub>3</sub> )	r(a <sub>4</sub> )	
e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>9</sub>	e <sub>13</sub>	Наимен. ИС	010	015	020	Истина
e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>6</sub>	e <sub>13</sub>	Наимен. резистор	010	015	020	Истина
e <sub>14</sub>	e <sub>13</sub>	-	-	Наимен. дроссель	010	-	-	Истина

### Соответствие атрибутов БЗ

Таблица 1.3

Условное обозначение соответствия	Область отправления		Область прибытия	
	Атрибут	Значение атрибута	Атрибут	Значение атрибута
	a <sub>1</sub>	r(a <sub>1</sub> )	a <sub>2</sub>	r(a <sub>2</sub> )
q <sub>1</sub>	e <sub>8</sub>	Тип МЛТ-0,125 Тип МЛТ-0,25 Тип МЛТ-0,5	e <sub>7</sub>	Приспособление П.001 Приспособление П.002 Приспособление П.002
q <sub>2</sub>	e <sub>12</sub>	Корпус тип 2 Корпус тип 2120	e <sub>11</sub>	Штамп Ш.001 Штамп Ш.002
q <sub>3</sub>	e <sub>14</sub>	Наименование резистор Наименование дроссель Наименование ИС	e <sub>15</sub>	Припой ПОС-40 Припой ПОС-40 Припой ПОС-61

Таблица 1.3 содержит три соответствия  $G = \{q_1, q_2, q_3\}$ , которые используются при параметрическом синтезе в качестве правил, устанавливающих в операциях значения системных атрибутов «оснастка» и «материал» в зависимости от значений истинного атрибута «деталь». Эти три соответствия полностью независимы друг от друга и объединены в одну таблицу только для удобства.

Описание атрибутов БЗ представлено на рис. 1.5.



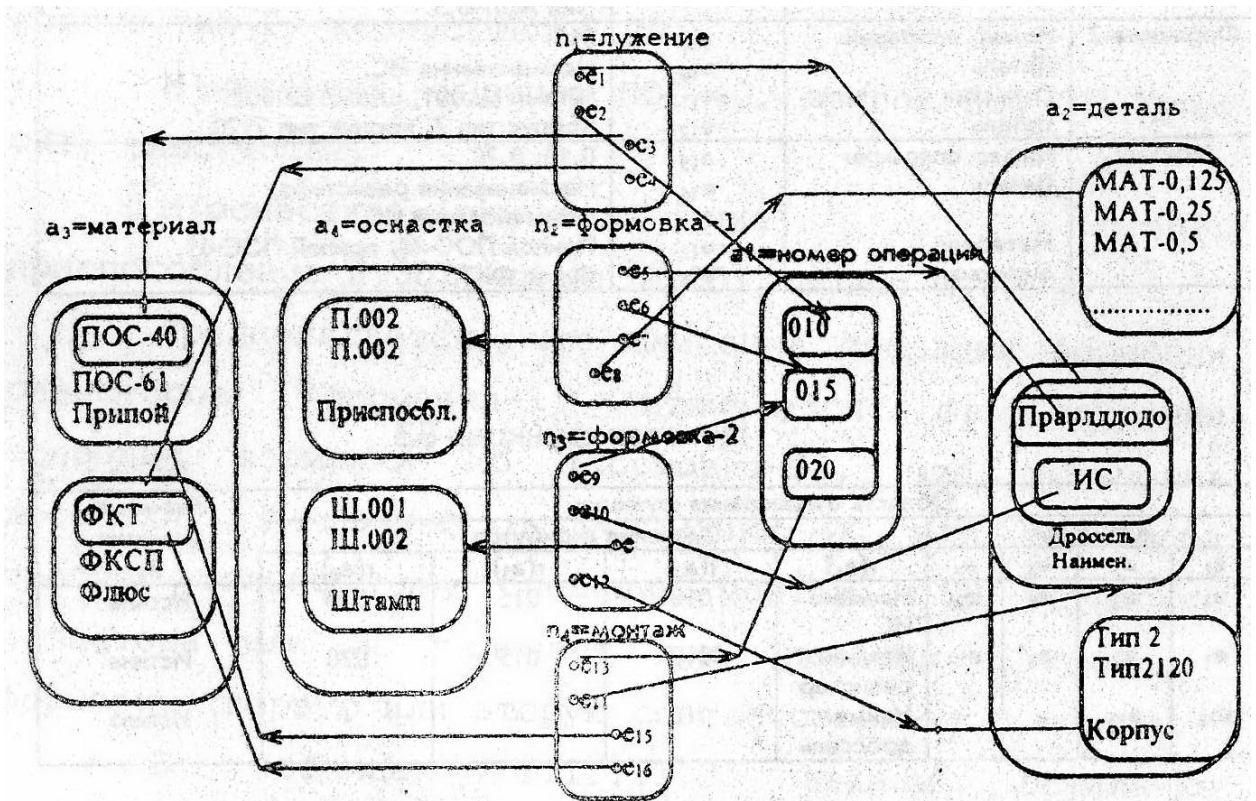


Рис. 1.5 Описание атрибутов в БЗ

Структурный синтез – это процесс преобразования (развития) исходной системы – БЗ в новую систему, которую обозначим БЗ1. БЗ1 отличается от БЗ тем, что в ней имеется новая подсистема – макроописание ТП.

Макроописание ТП - это последовательность унифицированных технологических приемов, представляющая собой промежуточное описание проектируемого ТП.

## **2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

При создании программных средств компьютеризированных интегрированных производств (КИП) необходимо [7]:

1. выбрать методы анализа и функционального моделирования КИП в целом и отдельных его подсистем;
2. разработать методы информационного моделирования объектов и процессов;
3. разработать методы и выбрать инструментальные программные средства разработки программного обеспечения функциональных модулей автоматизированной системы (АС).

Разработка любой сложной системы должна начинаться с функционального анализа и моделирования системы в целом и всех ее подсистем. Для этой цели разработана методология IDEF0 [6], представляющая собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной структуры сложных иерархических систем. Эта методология может использоваться как для определения требований и функций на начальных этапах проектирования АС, так и при разработке рабочих проектов систем, специфицированных с помощью IDEF0.

Методология IDEF0 позволяет повысить производительность и уменьшить вероятность появления ошибок при анализе систем.

В основе IDEF0 лежат следующие концепции:

- графическое представление модели в виде иерархии блок-схем, обеспечивающее компактность информации;
- максимальная коммуникативность, т.е. доступность для понимания широким кругам специалистов;
- строгость и точность, обеспечивающие качество модели;
- пошаговые процедуры, обеспечивающие эффективные процессы разработки модели, ее просмотра и объединения;
- отделение организации от функции, т.е. исключение влияния организационной структуры объекта на его функциональную модель.

Методология IDEF0 идеально сочетается с системологическими методами построения интегрированных интеллектуальных АС. При этом может быть построена

сквозная система проектирования и программирования систем автоматизации инженерного труда.

На рис. 2.1 представлена функциональная модель (IDEF0-диаграмма) конструкторско-технологической подготовки производства. Каждый функциональный элемент на диаграмме представляется прямоугольным блоком, внутри которого записывается наименование функции и ее номер на диаграмме.

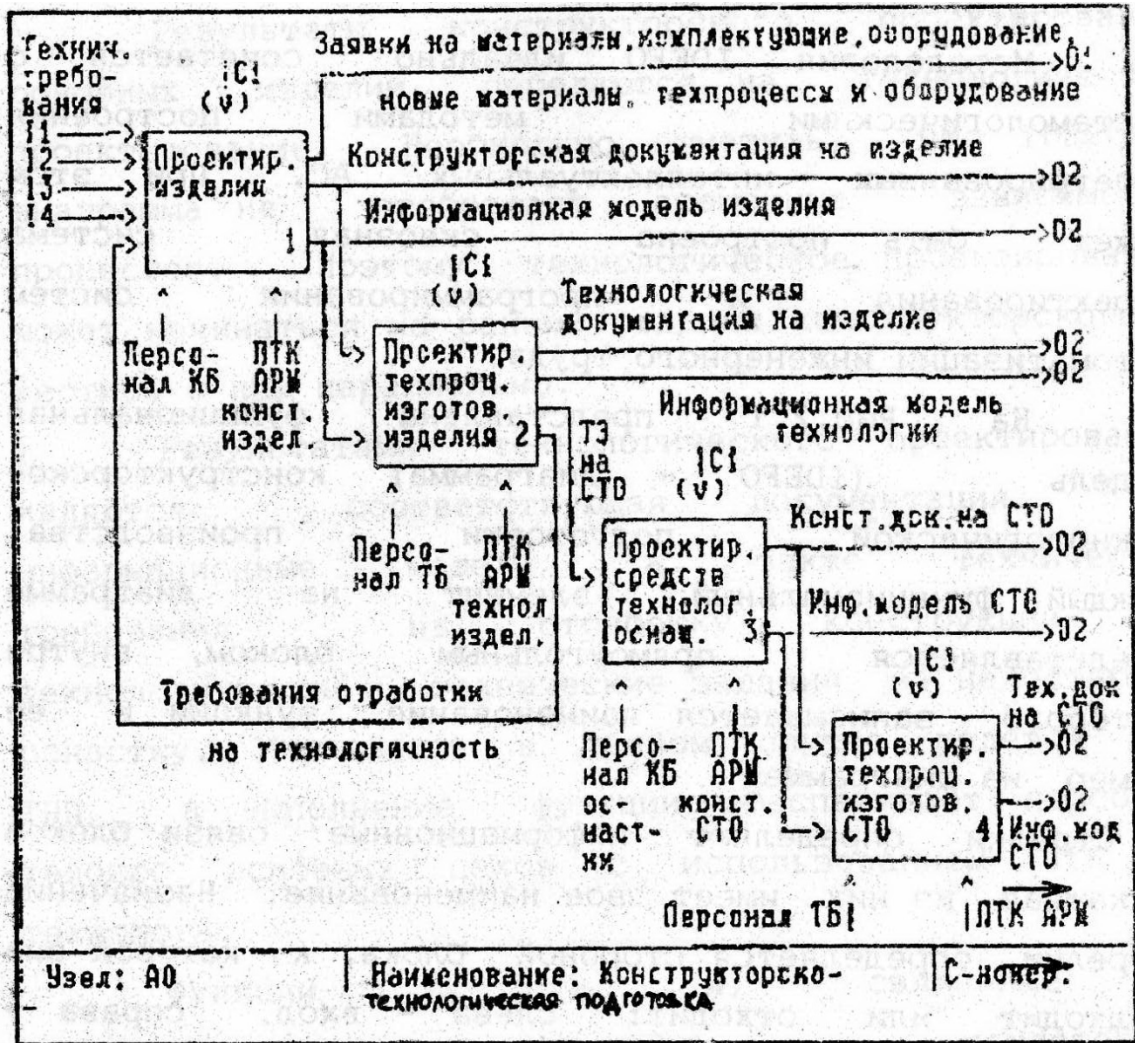


Рис. 2.1 Функциональная модель (IDEF0-диаграмма) подготовки производства

Стрелки определяют информационные связи блоков, и каждая из них имеет свое наименование. Назначение стрелки определяется стороной блока, к которой она подходит или отходит: слева – вход, справа – выход, сверху – управление, снизу – механизм.

На рис. 2.1 функции 1 и 2 представляют конструкторско-технологическую подготовку основного производства, а функции 3 и 4 – вспомогательного. Исходной информацией для проектирования основного изделия являются технические требования, а результатом – конструкторская документация и машинные информационные модели. Функция выполняется персоналом КБ основных изделий с помощью программно-

технических комплексов (ПТК) автоматизированных рабочих мест (АРМ) конструкторов. Управление осуществляет автоматизированная система управления производством.

Результаты конструкторского проектирования основных изделий передаются на технологическое проектирование. Необходимо отметить, что IDEF0-диаграмма не отображает временные зависимости процессов. Поэтому технологическое проектирование может начинаться на ранних стадиях конструкторского и вестись с ним параллельно.

Результатами технологического проектирования являются соответствующая документация и информационные модели, а также технические требования на отработку конструкции на технологичность и технические задания на недостающую оснастку. Управление в данном случае ведется АСУ ТПП, а выполнение функций обеспечивает персонал техбюро основных цехов с использованием ПТК АРМ технолога.

Функции 3 и 4, связанные с конструкторско-технологической подготовкой вспомогательного производства аналогичны вышеописанным.

При разработке интегрированных интеллектуальных САПР декомпозиция приведенной на рис. 2.1 модели доводится до функциональных элементов, реализуемых определенными программными модулями. На рис. 2.2 представлена структура такого элемента.

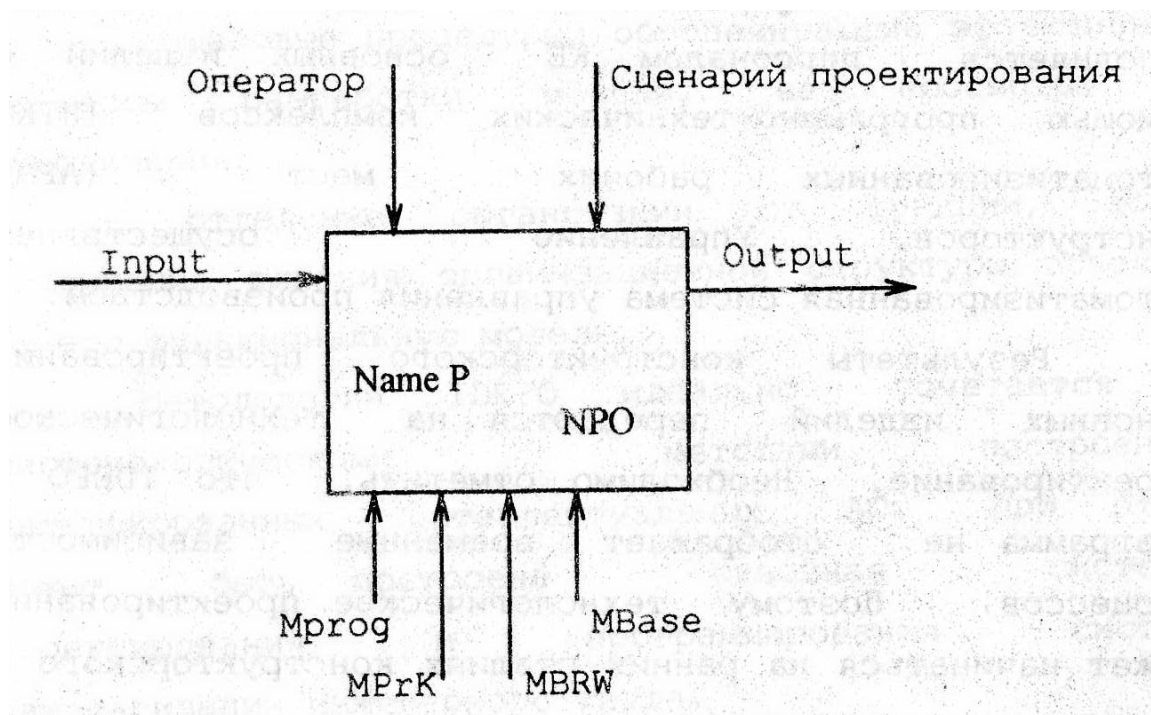


Рис. 2.2 Функциональный элемент нижнего уровня

На рис. 2.2: NPO – номер проектной операции, NameP – наименование проектной операции, Input – таблица исходных данных, Output – таблица выходных

данных, MProg – имя программного модуля, MBase – имя базы данных, MPrK – информация управления программным модулем, MBRW – информация управления чтением/записью в базу данных.

Интеллектуальная САПР представляет собой проектную процедуру, состоящую из проектных операций (рис. 2.2). Последовательность их наименований (NameP) формирует меню системы. Информация на входе и выходе содержится в реляционных отношениях и передается от одной проектной операции к другой. Процесс проектирования выполняется либо в автоматическом режиме под управлением информации из таблицы "Сценарий проектирования", либо автоматизировано под управлением оператора (см. рис. 2.2). Поддержка каждой проектной операции осуществляется с помощью базы знаний (БЗ) или базы данных (БД). При этом используются три основных типа программных модулей (MProg):

- 1) планировщик БЗ, решающий задачу логического вывода и получения результатов;
- 2) программный модуль графической БЗ, решающий задачу формирования геометрического (графического) образа по полученным из БЗ или БД переменным;
- 3) программный модуль селекции (выбора) информации из БД (MBase).

Помимо этого используются вспомогательные модули формирования входных и выходных таблиц (Input, Output), а также выходных документов.

### **3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ БАНКА ЗНАНИЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В результате развития технологической науки и производства накоплен значительный объем знаний, сосредоточенных в обширной литературе и технической документации. Однако эффективность использования знаний значительно снижается вследствие ряда недостатков, присущих традиционной текстовой форме их представления и хранения. Важнейшими из указанных недостатков являются:

1. Рассредоточенность знаний как по источникам, так и во времени, и, вследствие этого, их, сравнительно малая доступность и неизвестность для потенциальных пользователей.

2. Непроверенность знаний, возможность вытеснения более истинного знания менее истинным, или даже ошибочным, но более энергично пропагандируемым.

3. Невозможность быстрого использования знаний без умелых преобразований и приложений специалистом.

Указанные недостатки приводят к крайне низкой эффективности пользования знаний при принятии технологических решений в процессе технологической подготовки производства.

Любая современная технология определяется физическими процессами, лежащими в ее основе, и структурой ее построения.

Знания о физических процессах (технологических методах) большей частью представляются в виде количественных зависимостей, формул, моделей и могут быть легко формализуемы.

Знания о структурных преобразованиях в процессе построения технологии большей частью, являются логическими утверждениями; они, при литературной форме представлений значений, выражены неявно, трудно извлекаемы и практически неформализуемы.

Проектирование технологий может базироваться на [8]:

1. Создании новых физических процессов и технологических методов;
2. Создании новых структур технологических процессов на базе новых или существующих технологических методов в рамках одного технологического передела;
3. Создании новых структур технологических процессов на базе новых или существующих технологических методов, принадлежащих к различным технологическим переделам.

Каждое из данных направлений требует базовых знаний. Часть этих знаний может быть получена в результате специальных исследований, что характерно при создании новых физических процессов, технологических методов и сопряжено со значительными затратами. Однако большая часть базовых знаний может быть получена путем интенсификации и эффективного использования накопленных знаний. Инженерия знаний позволяет обеспечить комплексное использование знаний, принадлежащих одному или нескольким технологическим переделам, а также обеспечить комплексное взаимодействие различных компонент знаний (данных, эвристик) в процессе получения технологического решения.

В основе построения банка технологических знаний лежат принципы, обеспечивающие:

- извлечение знаний, которыми располагают специалисты;
- организацию знаний, позволяющую их наиболее эффективное использование.

Банк технологических знаний представляет собой компьютерную систему, способную удовлетворять разнообразные по форме и содержанию информационные потребности пользователя в области технологического проектирования и обеспечивать выдачу:

- документов;
- тривиальных данных, хранящихся в соответствующих подсистемах;
- нетривиальных данных, которые могут быть получены в результате взаимодействия знаний, хранящихся в банке;
- моделей процессов и явлений;
- нетривиальных решений (проектных, оценочных и т.д.), формируемых в результате использования знаний, хранящихся в банке;
- специализированных программных продуктов.

От существовавших до настоящего времени систем информационной поддержки в технологии машиностроения банк технологических знаний принципиально отличаются [8]:

1. Комплексность подхода к использованию знаний, заключающаяся в обеспечении взаимодействия:
  - различных по характеру знаний;
  - знаний о различных переделах машиностроительного производства;
  - различных компонент знаний;

2. Возможность получения нетривиальных решений, адаптированных к конкретным условиям пользователя.
3. Контроль истинности поступающих знаний.

Кроме того, банк технологических знаний удовлетворяет следующим требованиям:

1. Максимальный охват знаний о предметной области.
2. Возможность неограниченного наращивания знаний.
3. Возможность соединения знаний внутри предметной области.

Банк технологических знаний организуется по уровневому принципу. Каждый из уровней аккумулирует знания о конкретной подобласти общей предметной области, например, знания о физических явлениях и эффектах, знания о методах и процессах и т.д. Вместе с тем, каждый уровень делится на блоки в соответствии с более частными проблемами, например, механическая обработка, сборочное производство, технология нанесения покрытий, электрофизическая и электрохимическая обработка давлением, литейное производство, сварочное производство, химико-термическая обработка и др.

Банк технологических знаний построен из автономных модулей, каждый из которых представляет собой систему принятия решений, базирующуюся на знаниях. Блок-схема такой системы представлена на рис. 3.1.

Ввод исходных данных и получение ответа организуется через интерфейс системы. Блок идентификации запроса и диспетчирования распознает характер запроса и направляет его к необходимой для его удовлетворения компоненте системы. Если пользователю необходим документ, то осуществляется его поиск в ДВД и последующее формирование ответа. В случае если необходимы тривиальные данные, осуществляется их поиск в ФБД. Если ФБД не содержит данных, необходимых для удовлетворения запроса, они могут быть получены при взаимодействии со специализированным программным комплексом. Если и в этом случае запрос не удовлетворяется, то происходит обращение к экспертной компоненте, используемой как средство решения трудноформализуемых задач, требующих специализированного интеллекта.

Основными задачами первого этапа, решаемыми при создании банка технологических знаний являются [1]:

- а) разработка основ представления концептуальной модели технологии машиностроения, включая разработку методологии определения основных понятий и аксиом предметной области, и исследование взаимодействия основных компонент знаний;
- б) разработка методов представления знаний, обеспечивающих их активное взаимодействие на основе декларативного подхода.



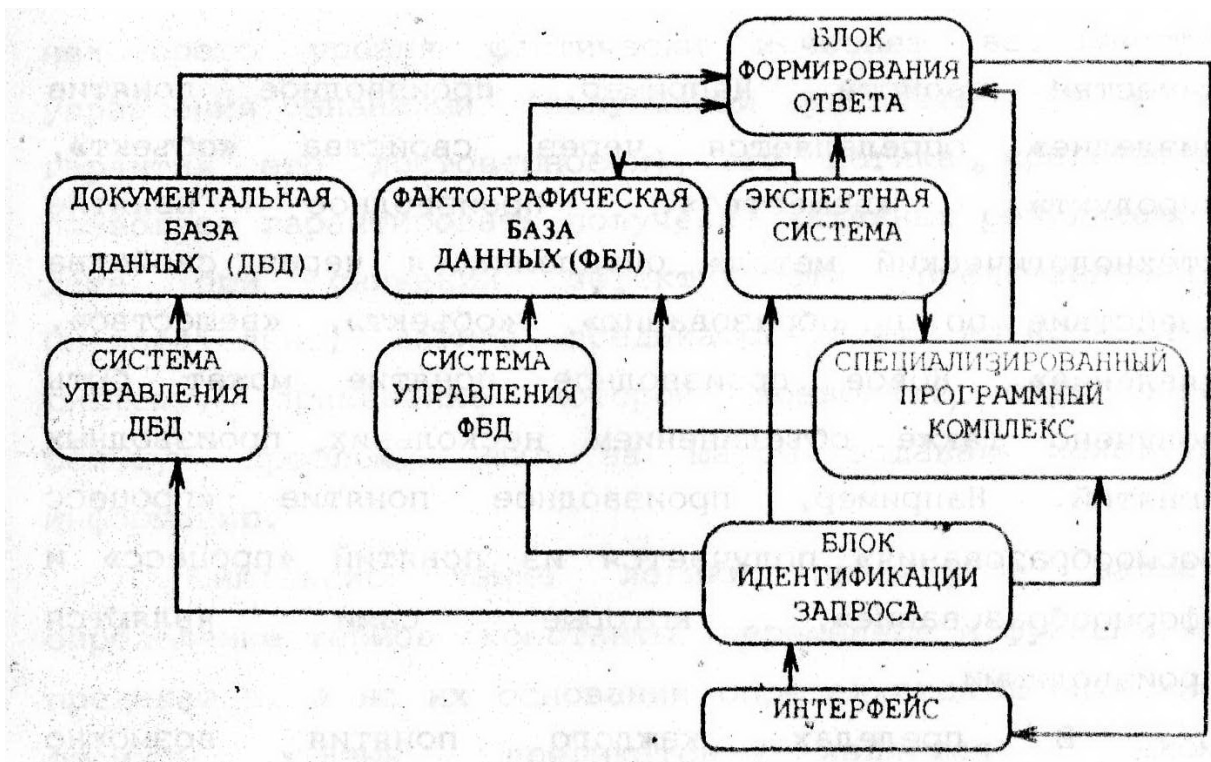


Рис. 3.1 Функциональная блок-схема банка технологических знаний

Технология машиностроения представляет собой систему знаний о машиностроительном производстве и строится на множестве понятий, описывающих объекты производства.

Система основана на конечном множестве базовых понятий, которые в рамках данной предметной области не определяются через другие понятия. К таким понятиям относятся: «вещество», «энергия», «информация», «пространство», «время», «количество», «качество», «объект», «явление», «функция», «структура», «продукт», «производственная система» и ряд действий («получение», «преобразование», «перемещение», «хранение»).

Бесконечное множество производных понятий строится на основе базовых с использованием их в качестве свойств. Например, производное понятие «изделие» определяется через свойства «объект», «продукт», «вещество». Производное понятие «технологический метод» определяется через свойства «действие по преобразованию», «объект», «вещество», «явление». Новое производное понятие может быть получено также объединением нескольких производных понятий. Например, производное понятие «процесс формообразования» получается из понятий «процесс» и «формообразование», которые сами являются производными.

В пределах каждого понятия возможно произвольное количество значений. Например, понятие «пространство» принимает такие значения: одномерное пространство,

двумерное пространство, трехмерное пространство. Большое число значений на практике принимают такие понятия как «вещество», «время», «явление» и др.

Описать предметную область означает представить ее как языковую систему в виде:

$$S - \langle M, P \rangle$$

где  $M$  – элементы множества понятий системы;

$P$  – правила, отражающие (задающие) отношения между элементами  $M$ .

При описании и представлении предметной области используется логика предикатов. Это объясняется тем, что для большинства используемых представлений знаний и созданных на их основе систем характерно резкое усложнение описания проблем при разрастании ее масштабов. Логика предикатов является единственным исключением. Хотя и она имеет указанный недостаток, но если во всех других методах при усложнении проблемы до некоторого уровня фактически исчезает возможность управления знаниями (полученный результат не есть гарантия его достоверности), то логика предикатов позволяет гарантировать получение надежных результатов даже при снижении эффективности представления. Следовательно, логика предикатов дает единственную систему, применение которой позволяет определять большую проблему, шаг за шагом задавая исходную информацию.

Синтаксис языка логики предикатов задает определение термов (константы, переменные и функции) и предикатов, а на их основании определяются логические формулы. Язык предикатов является языком декларативного типа, для которого целиком определяется механизм выводов.

Таким образом, создан язык формализованного описания технологии машиностроения, представляющий собой упорядоченное множество понятий технологии машиностроения (слева) и множество утверждений (предложения) с механизмом логического вывода одних утверждений из других.

Использование разработанного языка для списания объектов и действий в процессе технологического проектирования позволит создать эффективные системы активных модулей банка технологических знаний, обеспечить высокое качество и скорость принятия решений.

#### 4. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕСС-ФОРМ

В настоящее время конструирование пресс-форм осуществляется на основании накопленного опыта и литературных источников (справочников, РТМ и др.) и отличается высокой трудоемкостью в связи со специфическими особенностями используемых материалов деталей (пластических масс) [9-13]. Применение САПР позволяет значительно снизить трудоемкость процесса конструирования за счет моделирования рабочей зоны и унификации и типизации пресс-форм с использованием баз данных (БД) по оборудованию, по пластическим массам, и баз объектов (БО) деталей и узлов пресс-форм.

Рассмотрим особенности построения интеллектуальной САПР пресс-форм, описанной в работе [14].

Пресс-форму как объект проектирования в САПР можно представить в виде совокупности отдельных моделей, блок-схема которой представлена на рис. 4.1.

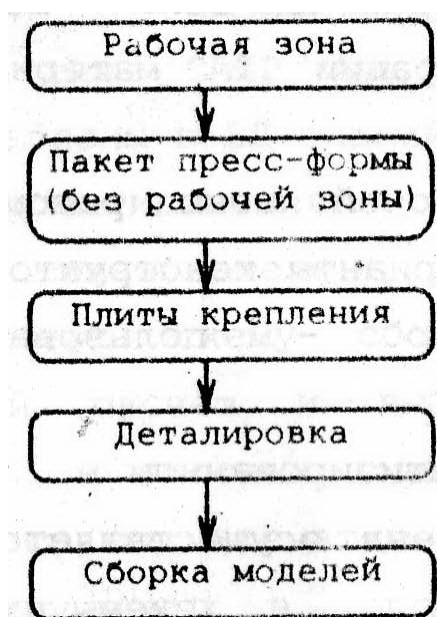


Рис 4.1 Пресс-форма как объект проектирования

Наибольшая доля ручного труда конструктора приходится на проектирование рабочей зоны, состоящей из следующих элементов (см. рис. 4.2).

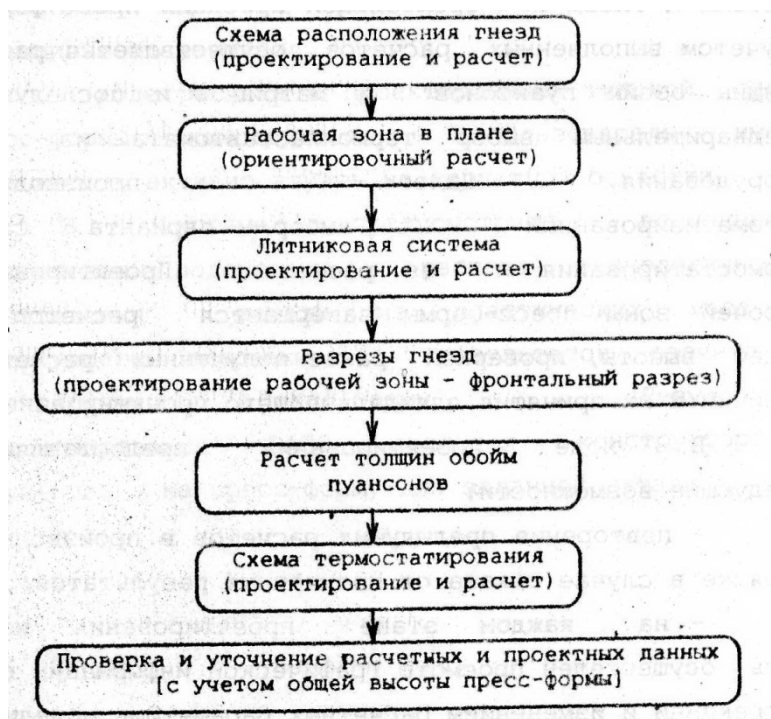


Рис 4.2 Основные этапы проектирования

Проектирование рабочей зоны ведется с учетом особенностей конфигурации и материала получаемой детали.

Компоненты рабочей зоны рассматриваются при этом как различные варианты конструкторских решений, и из них конструктор-пользователь выбирает оптимальные.

При автоматизированном проектировании расположения гнезд осуществляется расчет числа гнезд и выбор варианта схемы их расположения в плане. Далее, в автоматизированном режиме производится расчет габаритов рабочей зоны в плане (по плоскости разъема). Затем рассчитываются параметры литниковой системы, и гнезд во фронтальной проекции пресс-формы. С учетом выполненных расчетов осуществляется расчет толщин обойм пуансонов и матриц и последующий предварительный выбор термопластавтомата из БД оборудования. Далее производится автоматизированный выбор варианта схемы термостатирования и ее расчет. Проектирование рабочей зоны пресс-формы завершается расчетом ее общей высоты, проверкой ранее полученных расчетных величин и их принятия для дальнейшего проектирования.

В ходе проектирования предоставляются следующие возможности:

- повторение предыдущих расчетов в произвольном порядке в случае отказа от полученных результатов;
- на каждом этапе проектирования может быть осуществлен просмотр графической информации с ее коррекцией и изменением расчётных параметров

модели.

Все расчеты и компоновочные схемы рабочей зоны пресс-форм для САПР под управлением системы INIS/IKS представлены в БД знаний и объектов.

После проектирования рабочей зоны конструктор-пользователь в диалоговом режиме выбирает типовую схему сборки пресс-формы и выполняет общий расчет и выбор стандартизованных, унифицированных и типовых деталей и узлов пресс-формы и ее сборки по математическим моделям с учетом результатов, полученных в процессе проектирования рабочей зоны.

По окончании всех расчетов осуществляется автоматизированная сборка типовой схемы пресс-формы с наложением на нее рабочей зоны по правилам проекционного черчения.

В ходе расчета и проектирования типовой схемы пресс-формы конструктор-пользователь имеет возможность активно влиять на структуру оснастки.

В системе предусмотрена возможность подключения подсистемы расчета технологичности изготовления детали из пластических масс и последующего включения результатов расчета в проектируемую пресс-форму. Результатом функционирования САПР является конструкторская документация на пресс-форму для заданной детали.

## 5. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Решение системных задач, связанных со сложными технологическими комплексами (ТК), таких как анализ функционирования, синтез структуры, планирование, управление и др. не обеспечивается чисто математическими методами. Для поддержки принятия решений используют сочетание математики, вычислительных методов (обычно имитационное моделирование на ЭВМ), эвристических подходов, экспериментальных методов и методов инженерии знаний (чаще всего экспертных систем (ЭС)), в совокупности образующих гибридную систему (ГС).

Ниже приводятся результаты создания гибридной системы, опубликованные С.И.Ясинеvским и В. В. Емельяновым [15].

Состав гибридной системы, для моделирования работы многономенклатурного ТК с серийным типом производства приведен на рис.5.1 и включает:

- имитационную модель, использующую набор эвристических приоритетных правил для запуска деталей в обработку;
- блок оптимизации для подбора приоритетных правил, обеспечивающих получение планов работы с наилучшими показателями;
- ЭС, предназначенную для изменения параметров поиска, на основе знаний человека-оператора о перспективности той или иной стратегии поиска.

Для построения гибридной системы желательно иметь единые средства, на которых можно создавать имитационную модель, ЭС и реализовывать поисковые алгоритмы исследования операций. В качестве такого средства использован язык РДО, предназначенный для создания интеллектуальных систем моделирования [16,17,18,19].

Язык РДО использует модифицированные производственные правила для представления знаний о предметной области. Модификация обеспечивает возможность в явном виде учитывать временной аспект при моделировании, что обычные производственные правила не позволяют. В терминах языка предметная область описывается как набор ресурсов, их параметров, действий, выполняемых ресурсами и над ресурсами, а также операций, формализующих правила выполнения действий. Указанные элементы языка образуют базу знаний и базу данных. Как в любой интеллектуальной системе в РДО имеется механизм логического вывода.

Типы ресурсов моделируемого объекта определяют структуру глобальной базы данных программы (модели) и описываются в отдельном файле. Описание каждого типа,

ресурса имеет следующий формат:

```
$Resource_tupe <имя_типа> : <вид_ресурсов>  
$Parameters  
<описание_параметра> ... <описание_параметра>...<описание_параметра>  
$End
```

Описание параметра ресурса имеет формат:

```
<имя_параметра> : <тип_параметра> [=<значение_по_умолчанию>]
```

Для увеличения выразительных возможностей и повышения удобства записи в модели могут быть определены символьные константы, функции и последовательности. Они описываются в отдельном файле.

Наиболее сложной конструкцией рассматриваемого языка являются образцы. Образцы формализуют знания о процессах, протекающих в предметной области, в виде модифицированных продукционных правил в соответствии с синтаксисом языка. В модели существует файл образцов. Описание образца имеет следующий формат:

```
$Pattern <имя_образца> : <тип_образца> [trace | no_trace]  
$Parameters <описание_параметров_образца> $Relevant_resources  
<описание_релевантных_ресурсов_образца>  
$Time = <выражение_времени>  
$Body <тело_образца>  
$End
```

Описание параметров образца имеет следующий формат:

```
<имя_параметра> : <тип_параметра> [=<значение_по_умолчанию>]
```

Описание релевантных ресурсов образца для образцов типа операция и клавиатурная операция имеет следующий формат:

```
<имя_релевантного_ресурса> : <описатель>  
<статус_конвертатора_начала>  
<статус_конвертатора_конца>
```

Описатель ресурса – это либо имя типа ресурса, либо имя ресурса. В первом случае в качестве релевантного может быть использован любой ресурс указанного типа, состояние которого удовлетворяет предусловию. Во втором случае может быть использован только указанный ресурс, если его состояние удовлетворяет предусловию. Статус конвертора описывает, что происходит с релевантным ресурсом в целом при выполнении предусловия. Статус конвертора начала описывает, что происходит в начале, статус конвертора конца – в конце операции.

Язык РДО обеспечивает построение всех частей ГС на едином информационном пространстве и в единых формализмах (рис. 5.2).

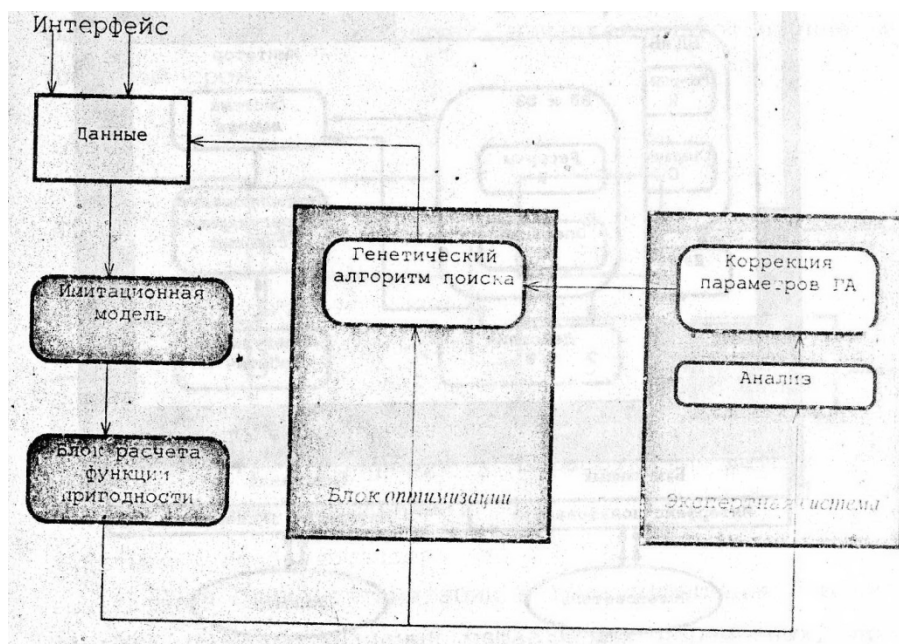


Рис. 5.1 Укрупненная структура ГС



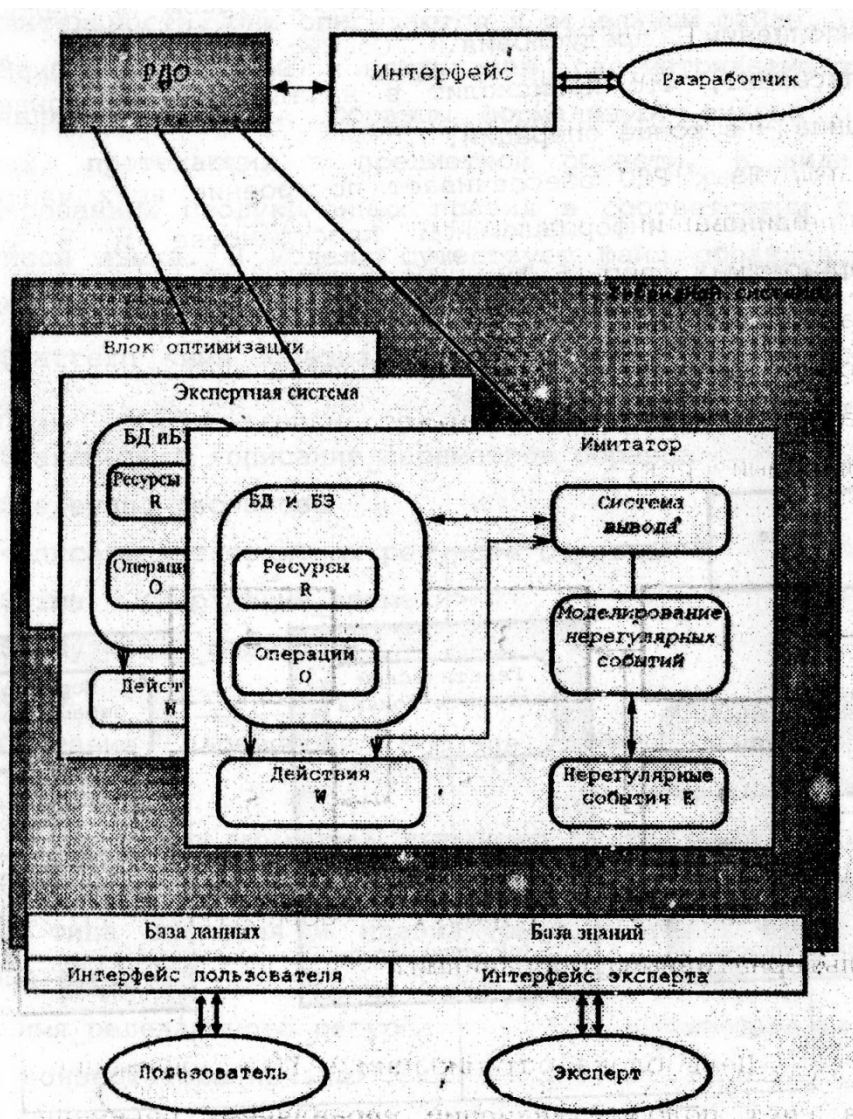


Рис. 5.2 Построение ГС на РДО

ТК, для которого предназначена ГС, состоит из станков различного типа и обрабатывает детали нескольких типов. Процесс обработки детали может иметь альтернативные варианты маршрута обработки (пример маршрута на рис.5.3). Для каждой операции при моделировании определяются номер станка, время обработки, номер наладки. Все Детали относятся к различным заказам. Заказ имеет параметры: порядковый номер, номер детали, количество деталей в заказе, раннее время, когда может начаться изготовление и плановый срок.

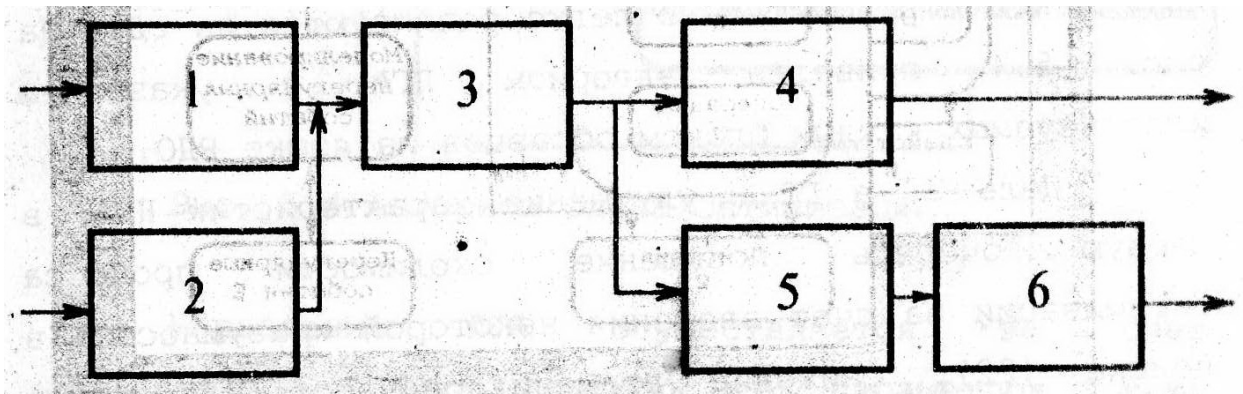


Рис. 5.3 Маршрут обработки детали с альтернативными операциями

Цель блока оптимизации в ГС – улучшение решения за счет подбора значений управляемых переменных, при этом достижение действительного оптимума менее важно для таких сложных систем, как рассматриваемая производственная система. Применение точных методов оптимизации, помимо большой сложности, нецелесообразно еще и потому, что алгоритм управления, который оптимизируется, сам по себе эвристический.

Использование методов направленного поиска не представляется эффективным в силу нерегулярности области определения функции качества. Методы случайного поиска не обеспечивают быстрой сходимости поиска, хотя и более экономичны, чем точные методы. Предлагается решать задачу оптимизации с помощью подхода, реализующего простейший генетический алгоритм (ПГА) [20,21].

ПГА хорошо зарекомендовали себя при решении сложных задач адаптации систем к изменяющейся среде и т.п. Они просты в вычислении, не накладывают ограничений на пространство поиска, реализуют вероятностный характер поиска с накоплением информации о популяции в заранее неизвестном пространстве поиска. В этом они близки к алгоритмам искусственного интеллекта и относительно легко реализуются на РДО. На рис. 5.4 приведен алгоритм ПГА с указанием используемых каждым блоком образцов на языке РДО.

Цель ЭС в ГС – улучшение характеристик ПГА, в первую очередь повышение сходимости процесса оптимизации за счет введения некоторой «разумности» в поиске [22]. Снижение времени расчетов ПГА также является целью ЭС. Для достижения этих целей ЭС должна обеспечивать:

- получение знаний от экспертов (в данном случае это некоторый "селекционер", управляющий направлением генетического отбора);
- организация сбора и обработки знаний эксперта; хранение их в базе знаний;
- применение знаний при анализе результатов поиска в ПГА и изменение

характеристик последнего.

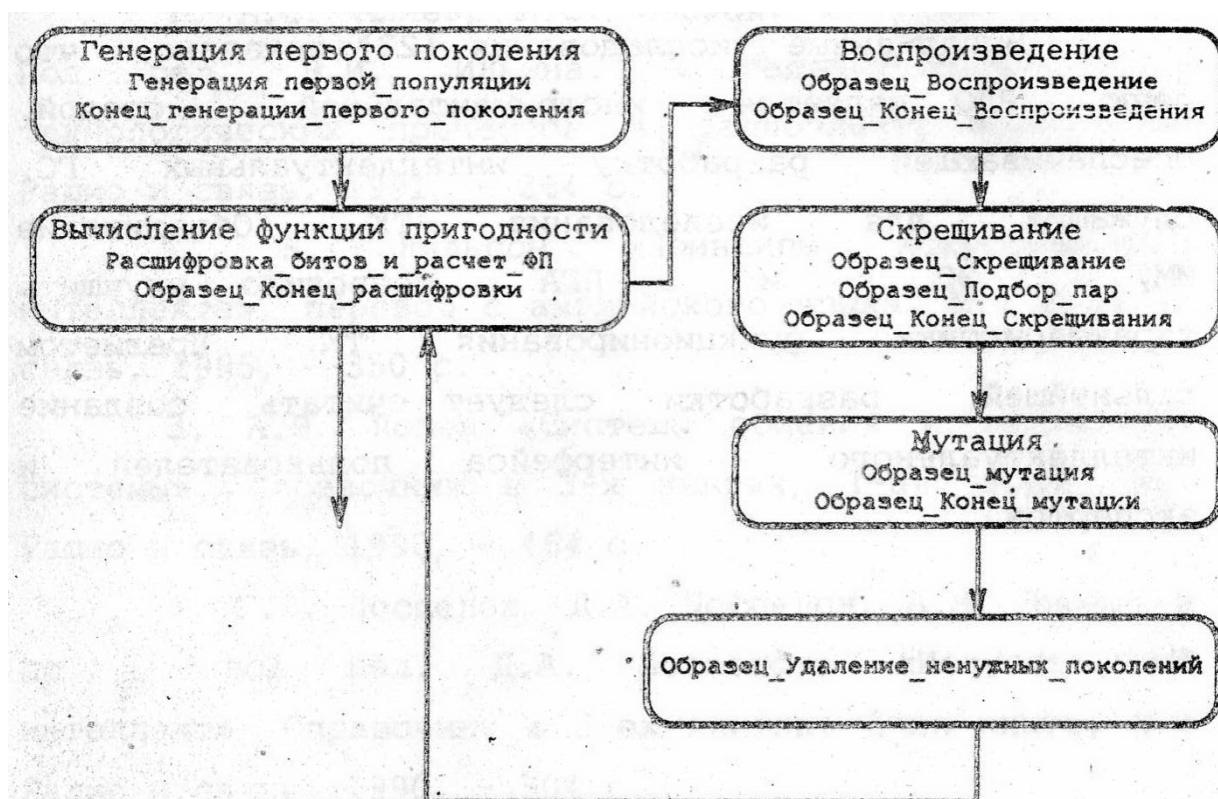


Рис. 5.4 Алгоритм блока оптимизации

Управление ПГА осуществляется за счет направленного выбора таких его параметров как: количество особей в популяции, вероятности скрещивания и мутации, также введение ряда правил выбора особей из предыдущего поколения в следующее поколение при их воспроизведении (обычно этот процесс в ПГА носит чисто вероятностный характер).

Проблемная область для ЭС не является хорошо определенной, а пространство поиска в ПГА хорошо структурированным, поэтому ЭС работает совместно с ПГА по оперативным данным о популяции и по текущему состоянию имитатора.

В отличие от имитатора при реализации ПГА и ЭС не требуется учитывать временной аспект. Поэтому образцы операций при создании ЭС и ПГА трансформируются в обычные производственные правила.

Выполненные исследования [23] показывают, что язык РДО является инструментальной средой, обеспечивающей разработку интеллектуальных ГС, служащих для исследования ТК. Объединений ИМ, ЭС и ПГА позволило улучшить характеристики функционирования ТК. Предметом дальнейшей разработки следует считать создание интеллектуального интерфейса пользователей и экспертов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. Алиев, Л.С. Восков, В.Н. Ильин и др; Под ред В.И. Ильина. «Интеллектуальные САПР технологических процессов в радиоэлектронике», М.: Радио и связь, 1991, - 264 с.
2. Н. Нильсон «Принципы искусственного интеллекта», перевод с английского языка, М. : Радио и связь,. 1985, - 350 с.
3. А. В. Попов «Системы общения и экспертные системы», Справочник в 3-х книгах, 1-ая книга, М.: Радио и связь, 1990, - 464 с.
4. Г.С. Пospelов, Д.А. Пospelов, А.М. Волков и др., под ред. Д.А. Пospelова «Искусственный интеллект», Справочник в 3-ех книгах, 2-ая книга, М.: Радио и связь, 1990, - 304 с.
5. Б.Ф. Хорошевский, В.Н. Захаров, А.Г. Красозский и др., под ред. З.Ф. Хорошевского «Искусственный интеллект», Справочник в 3-ех книгах, 3-я книга г «Программные и аппаратные средства», М.: Радио и связь, 1994, - 360 с.
6. ISO/TC184/SC4/WG4 N73 «ISO/DIS 10303-41/ Fundamentals of product description and support», 1993
7. Евгенийев Г.Б., Максин Ю.А., Евдокимов С.А., Рыбаков А.В., Драненкова М.Б., Краснов А.А. «Интегральная интеллектуальная система конструкторско-технологического проектирования. Материалы международного семинара «Современные технологии производства инструментально штамповой оснастки»» Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, стр.182-186.
8. Диланян Р.В., Киселев ВЛ, Мухин А.В., Спиридонов О.В. Банк знаний для технологического проектирования. Материалы международного семинара «Современные технологии производства инструментально-штамповой оснастки», М., МГТУ, 1993 г., с. 201-206.
9. ОСТ 4.ГО.010.035. Изделия из пластмасс. Конструирование. - М.: Издательство стандартов, 1981. -31 с.
10. ОСТ 4.ГС.054.018. Пластмассы. Типовые технологические процессы изготовления деталей. - М.: Издательства стандартов, 1981. -56 с.
11. Видгоф Н. Б. Основы конструирования литьевых форм для термопластов. - М.: Машиностроение, 1979. 112 с.
12. Видгоф Н.Б. Определение оптимальной гнездности литьевых форм. Пластмассы, 1979, Н9. с. 21- 22.
13. Пантелеев Л. П. и др. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс/А.П. Пантелеев, Ю.М. Шевцов, И.А. Горячев. -

М.;Машиностроение, 1986. -69 с.

14. Давыдкин А.С., Шпицман А.Д. Интеллектуальная система автоматизированного проектирования пресс-форм. Материалы международного семинара «Современные технологии производства инструментально-штамповой оснастки». М., Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана 1993 г., с. 179-181.

15. Конвей Р. В., Максвелл В.Л., Миллер Л. В. Теория расписаний. -М: Наука, 1975. -358 с.

16. Горнев В.Ф., Емельянов В.В., Овсянников М.В. Оперативное управление в ГПС. – М.: Машиностроение., 1990. -341 с.

17. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Представление знаний о дискретном производственном процессе в системах моделирования и управления//Приборы и системы управления 1991, № 6 с. 1-3

18. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Продукционный имитатор дискретных процессов и систем//Вестник машиностроения 1992, № 5, с. 41-44.

19. Ясиновский С.И. Логический вывод в гибридных системах//Вестник МГТУ Сер. Приборостроение.1994. №1, с. 88-95.

20. Holland J.H. Adaptive algorithms for discovering and using general patterns in growing knowledge-bases//Int. Journ of Policy Analysis and Information Systems, 1980. P. 217-240.

21. Holland J.H. Escaping Britteness: The possibilities of General-purpose Learning Algorithms Applied to Parallel Rule-Based Systems//Mashine Learning; An artificial intelligence approach/ R.S. Mishalki, J.G. Carbonell, T.M. Mitchell (eds.). Los Altos, CA: Morgan Kaufmann 1986. Vol.2. p. 593-623.

22. Hayes-Roth. F., Lenat D.B., Waterman D.A. (eds.). Building Expert Systems. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts. 1983

23. Ясиновский С.Н., Емельянов В.В. Интеллектуальная система моделирования технологических комплексов на базе метода РДО. Материалы международного семинара «Современные технологии производства инструментально-штамповой оснастки», М., Издательство МГТУ, 1993, с. 187-193.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологического проектирования	1
1.1 Методы структурного и параметрического синтеза	2
1.2 Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологических процессов	8
2. Принципы построения интегрированной интеллектуальной конструкторско-технологического проектирования	16
3. Принципы построения банка знаний для технологического проектирования	22
4. Интеллектуальная система автоматизированного проектирования пресс-форм	30
5. Интеллектуальная система моделирования технологических комплексов	34
Литература	43

Редакция Заказной литературы  
Виктор Петрович Григорьев  
Эмилия Николаевна Камышная  
Юрий Иванович Нестеров  
Сергей Андреевич Никитин

Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологических процессов электронной аппаратуры

Заведующая редакцией Н.Г.Ковалевская

С МГТУ им.Н.Э.Баумана 1998г.

Подписано в печать 03.06.98 Формат 60x84/16

Бумага тип №2, Печат.л. 2,0. Усл. печ.л. 1,86

Уч.-изд. Л. 1,72. Тираж 400 экз. Изд. №

Заказ №152 С.

Изд-во МГТУ, типография МГТУ  
107005, Москва Б-5,2-я Бауманская, 5