

М 491174

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени Государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана

На правах рукописи

ВАЛЬТЕР Александр Викторович

УДК. 658.512.011.56:621.9

СИНТЕЗ МАРШРУТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения
05.13.12 - Системы автоматизации
проектирования

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Москва

1989

Работа выполнена в Конструкторском бюро инструмента при заводе "Сетунь" г.Фрунзе и в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент ДИЛАНЯН Р.З.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
профессор А.М. Кузнецов
- кандидат технических наук
А.Н. Божко

Ведущее предприятие - НПО "Механика"

Защита состоит "15" января 1990 г. в _____ ча-
сов на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Мос-
ковском Государственном техническом университете имени Н.Э.Бау-
мана по адресу: 107005, Москва, 2-ая Бауманская, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ имени
Н.Э.Баумана.

эмпляре, заверенный
адресу.

9 г.

К.МВЩЕРЯКОВ

11491174

объем I п.л.
Зак. № 1265

Актуальность проблемы. Особенности современного машино-
строительного производства, стремление к его интенсификации и
повышению эффективности в условиях частой сменяемости выпус-
каемой продукции выдвигают на первый план задачу сокращения
сроков разработки технологических процессов (ТП) и повышения
качества проектных решений. Решение этих задач возможно при по-
мощи автоматизированных систем технологической подготовки произ-
водства (АСТП).

Развитие гибких производств приводит к необходимости повы-
шения подробности и надежности технологического проектирования.
Способность получения УП становится обязательной для АСТП. Раз-
витие САПР конструкции изделий выдвигает к АСТП требование рабо-
ты с исходными данными в виде геометрической модели детали - резу-
льтата работы подсистемы САПР-К. Частая сменяемость выпускаемой
продукции, прогресс науки и техники приводит к изменениям произ-
водственных условий, появлению на предприятиях новых видов обору-
дования, инструмента, оснащения. Это выдвигает на первый план
адаптивные возможности АСТП, способность приспосабливать систему
к непрерывно изменяющимся производственным условиям и объектам
проектирования.

Более всего соответствует требованиям, предъявляемым к та-
ким системам, метод проектирования, основанный на синтезе марш-
рутов обработки. Однако, схемы решения задачи синтеза в строгой
аналитической форме пока не существует.

Используемые в АСТП традиционные алгоритмы синтеза опира-
ются на иерархическое представление проектных задач, моделирую-
щее деятельность технолога-проектировщика. Это приводит к выде-
лению в пространстве технологических знаний различных уровней
представления, что затрудняет адаптацию систем из-за сложной
структуры предметных знаний. Отсутствует также четкое разделение
между общими принципами технологического проектирования и пред-
метными знаниями, отражающими особенности методов обработки,
средств технологического оснащения и пр. Это приводит к спе-
циализации базового программного обеспечения системы (к типу де-
тали, виду производства и т.п.). Не решена в общем случае зада-
ча проектирования ТП на основе геометрической модели детали,
являющаяся частным случаем задачи распознавания образов.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1491174

Вальтер А.В. Синтез маршрут

МГТУ
ИЗД. 1
ВИБЛИОТЕКА

актуальность

Удовлетворить требования к АСПП можно используя современные методы искусственного интеллекта, путем четкого разграничения общих и предметных технологических знаний, создания единой базы знаний, использования формальных методов синтеза в сочетании с эвристическими правилами проектирования ТП. Проблема создания такой системы требует обобщения известных подходов и методов на основе дальнейших исследований.

Цель работы. Повышение производительности труда при разработке технологических процессов путем автоматизированного синтеза ТП, ориентированного на использование геометрической модели детали; обеспечение адаптируемости АСПП к непрерывно изменяющимся производственным условиям за счет выделения общих и предметных технологических знаний и сокращения уровней представления знаний; повышение качества ТП путем моделирования точностных и размерных характеристик компонентов технологических систем.

Объектом исследования является процесс проектирования технологических процессов механической обработки; проектные задачи синтеза ТП, связанные с выбором методов обработки заготовок, средств технологического оснащения, последовательности обработки поверхностей заготовок.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались научные основы технологии машиностроения и резания металлов, методы теории систем, теории множеств, теории размерных цепей, методов однородных координат, матричного исчисления, векторной алгебры, геометрического моделирования, искусственного интеллекта.

Научная новизна.

1. Доказана принципиальная возможность синтеза технологических процессов механической обработки заготовок на основе единого уровня представления предметных технологических знаний в виде преобразующих функций – алгоритмических модулей специального вида, описывающих технологические методы обработки; выявлены основные закономерности процесса построения вариантов последовательности обработки.

2. Установлены взаимосвязи между компонентами геометрической модели детали и технологическими методами пригодными для ее обработки.

3. Выявлены закономерности преобразования геометрической

модели детали в результате обработки и получения модели промежуточного состояния детали.

Практическая ценность.

1. Разработано программное обеспечение языка описания технологических алгоритмов, включающее интерпретатор языка проектирования технологических процессов и интерпретатор специализированного алгоритмического языка технологического назначения.

2. Разработана база знаний средств технологического оснащения и преобразующих функций предприятия по производству технологической оснастки.

3. Разработан пакет программ, обеспечивающих решение уравнений пространственных размерных цепей итерационными методами. Пакет применяется для технологических расчетов: настроечных параметров технологических систем, геометрических погрешностей технологических систем, в том числе погрешности базирования. Все это позволило:

- повысить производительность труда инженера-технолога в процессе ТПП в 2-15 раз;
- повысить производительность труда при создании прикладных технологических алгоритмов в 3-5 раз;
- обеспечить адаптацию АСТПП к производственным условиям;
- улучшить качество технологической документации.

Реализация в промышленности. Разработанное методическое и программное обеспечение составляет основу АСТПП "АСТРА", разработанной в по "АЛА-ТОО" г.Фрунзе. Внедрение программного обеспечения на ряде предприятий обеспечило получение годового экономического эффекта 141,322 тыс.руб.

Реализация в учебном процессе. Материалы диссертационной работы положены в основу учебной версии АСТПП "АСТРА", внедренной в учебный процесс на кафедре "Инструментальное производство" Фрунзенского политехнического института в 1987 г.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на кафедрах МТ-2 и САПР МВТУ им.Н.Э.Баумана, Республиканской научно-технической конференции "Автоматизация производственных процессов в машиностроении" (г.Фрунзе, 1986 г.), Всесоюзной конференции "Автоматизация проектирования средств технологического оснащения в машиностроении и приборостроении" (г.Рига, 1988 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатные

работы, получено авторское свидетельство.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы из 95 наименований, приложения и содержит — 149 страниц основного текста, 7 таблиц, иллюстрируется рисунками на 47 страницах. Общий объем диссертации — 213 стр., приложения — 108 стр.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследования, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ работ в области автоматизированного проектирования технологических процессов.

Рассмотрены основные методы автоматизированного проектирования и различные системы классификации методов.

Отмечено совпадение различных систем классификации методов проектирования на основе ТП-аналогов и различия по вопросу проектирования методом синтеза. Сделан вывод о наличии более глубоких проработок методов корректировки ТП-аналогов. Предложена классификация методов синтеза по критерию состава проектных задач и в зависимости от вида представления технологических знаний. Выделено две основные группы методов синтеза ТП: на основе маршрутов обработки поверхностей, на основе правил (без прототипа).

Рассмотрены известные методы синтеза ТП, предложенные в работах Б.С.Балахшина, В.Д.Цветкова, Б.Е.Челищева, Г.Шпура, Ф.-Л.Краузе, С.Б.Михалева, В.Г.Старостина, В.Е.Лелюхина, В.И.Комиссарова, В.И.Леонтьева, Н.М.Капустина, П.А.Руденко, М.Е.Егорова, В.И.Бородянского, П.М.Климова и других авторов с точки зрения состава и последовательности выполнения проектных задач. Отмечено единство различных авторов по составу проектных задач и различие по последовательности их выполнения.

Проделанный анализ позволил выявить наличие проектных задач, связанных с различными источниками знаний (литье, обработка давлением, порошковая металлургия, резание металлов). Все эти источники знаний необходимы при решении задач выбора заготовки, построения общего плана обработки. Кроме того выделена группа проектных задач, связанных с одним источником знаний, но использующие различные уровни представления этого рода знаний.

Это задачи выбора баз, проектирования маршрутов обработки отдельных поверхностей, проектирования станочных операций и переходов, выбор средств технологического оснащения. Перечисленные задачи имеют своим источником знания о резании металлов, сведения о средствах технологического оснащения, технологических методах обработки. Сделан вывод о том, что наличие различных уровней представления источника знаний является следствием копирования действий технолога-проектировщика и связано со спецификой его деятельности. В АСТПП такое разделение приводит к усложнению базы знаний и к необходимости искусственного выделения уровней представления, что приводит к сложностям адаптации таких систем. Предложено соединить проектные задачи, связанные с технологией механической обработки в один уровень принятия решений.

Известные методы синтеза ПП используют в качестве основного компонента технологических знаний маршруты обработки поверхностей (МОП). Принципиальная возможность других методов (без МОП), указывается без подробного обоснования (например в работах В.Д.Цветкова). Способ представления технологических знаний на основе МОП имеет вид: геометрический элемент (ГЭ) $\rightarrow$ МОП.

Такого рода зависимости обеспечивают синтез ПП. Однако такой способ представления технологических знаний имеет существенные недостатки: трудности учета взаимного влияния ГЭ и, соответственно, взаимной зависимости МОП различных элементов детали (особенно в случае геометрического пересечения элементов); значительная трудоемкость адаптации (появление новых методов обработки, оборудования, оснастки и т.д. может привести к изменению всех алгоритмов вида ГЭ $\rightarrow$ МОП). Одной из доминирующих тенденций развития АСТПП на современном этапе является разработка технологических банков данных и знаний. Такие банки формируются на основании экспериментальных и теоретических исследований в области технологии машиностроения, содержат сведения об оборудовании, режимах резания, инструментальных материалах и т.д. Банки данных снабжают абонентов необходимой технологической информацией и постоянно пополняются. Однако методы, способные использовать эти данные для формального синтеза ПП не известны. Отсутствует также унификация средств представления технологической информации, хотя можно считать общепризнанным необходимость создания специальных средств представления (языков).

Анализ методов синтеза ТП и средств представления технологической информации показал, что эти задачи в известных АСТПП рассматриваются независимо друг от друга. Это приводит, с одной стороны, к смешиванию общих и предметных технологических знаний в рамках одной системы правил синтеза ТП, а с другой, к отсутствию средств представления предметных технологических знаний. Сделан вывод о необходимости четкого разделения общих и предметных технологических знаний и создания средств адекватного представления предметных технологических знаний с учетом возможности их использования в процессе синтеза ТП. Метод синтеза при этом отождествлен с логической машиной вывода АСТПП и содержит набор правил, обеспечивающих синтез и отражающих общие законы технологии машиностроения.

Перспективным для реализации АСТПП является применение методов искусственного интеллекта в частности методы построения экспертных систем. Однако анализ литературных данных показал, что промышленные АСТПП, основанные на принципах искусственного интеллекта пока отсутствуют.

Вторая глава посвящена разработке метода синтеза маршрутов механической обработки.

Основным понятием разрабатываемого метода является понятие преобразующей функции (Φ), определяемой как зависимость между входной ($ГМ_{вх}$) и выходной геометрическими моделями ($ГМ_{вых}$) некоторого сочетания поверхностей детали, форма и параметры которого изменяются при применении определенного метода технологической обработки. Преобразование геометрической модели сочетания поверхностей детали приводит к преобразованию геометрической модели детали и получению некоторого промежуточного состояния. Таким образом преобразующая функция переводит заготовку из одного промежуточного состояния в другое. Преобразующая функция формирует список возможных технологических систем ($ТС$), обеспечивающих описанное преобразование. Каждый метод обработки описывается своей преобразующей функцией.

$\Phi = (ГМ_{вх}, ГМ_{вых}, ТС_i, i = 1, N)$,
где N - количество $ТС$, обеспечивающих описываемое преобразование.

$ТС_i = (С, П, И, Т)$,
где $С$ - станок, $П$ - приспособление, $И$ - инструмент, $Т$ - траектория формообразующих перемещений.

База знаний АСТП представлена в виде множества $\Pi\Phi$. С информационной точки зрения $\Pi\Phi$ – некоторый алгоритм, описанный специализированными алгоритмическими средствами. Процесс синтеза маршрута сводится к выбору $\Pi\Phi$ базы знаний в соответствии с геометрической моделью промежуточного состояния детали (идентификация $\Pi\Phi$) и изменению геометрической модели согласно содержанию $\Pi\Phi$ (модификации). Метод синтеза включает набор правил, обеспечивающий выбор $\Pi\Phi$ из множества альтернатив. Набор правил реализует общую, а $\Pi\Phi$ – предметную часть технологических знаний. В результате поочередной идентификации и модификации получим граф – дерево возможных вариантов $\Pi\Pi$. При построении дерева вариантов $\Pi\Pi$ принята обратная последовательность: исходная вершина – модель готовой детали, конечная – модель заготовки.

За основу геометрической модели промежуточного состояния детали (ГЗ) принята трехмерная поверхностная модель (В – представление), как модель, отличающаяся однозначностью представления. Основные компоненты этой модели: список поверхностей, граф смежных поверхностей, в основном совпадают с компонентами модели в системе геометрического моделирования ФАП-ИФ, принятой за основу. Отличительной особенностью модели является компонента связей взаимного расположения поверхностей. При этом каждой поверхности приписывается локальная система координат, связь описывается произведением матриц элементарных геометрических преобразований (поворотов вокруг осей координат и параллельного переноса). Показаны возможности моделирования погрешностей взаимного расположения (линейных размеров, позиционного допуска, допусков наклона осей, соосности и пересечения осей и т.п.) в виде матриц геометрических преобразований, содержащих переменные составляющие (вариантных матриц).

Геометрическая модель промежуточного состояния детали положена в основу процедуры идентификации $\Pi\Phi$. При этом $\Gamma M_{\text{вх}}$ преобразующей функции представляет собой алгоритм, обеспечивающий ее идентификацию. Идентификация производится в следующей последовательности:

1. Проверка совпадения графа смежных поверхностей $\Gamma M_{\text{вх}}$ $\Pi\Phi$ с подграфом графа смежных поверхностей детали.
2. Проверка соответствия вида контура (внутренний или наружный).
3. Проверка соответствия формы элемента путем решения сис-

тем матричных уравнений вида

$$M(I \rightarrow J) = M(I' \rightarrow J'),$$

где $M(I \rightarrow J)$, $M(I' \rightarrow J')$ - матрицы преобразования между поверхностями I , J $\Gamma_{\text{вх}}$ ПФ и I' , J' - промежуточного состояния детали, относительно переменных X , описывающих номинальное взаимное расположение поверхностей, при постоянной величине переменных W , описывающих погрешности взаимного расположения поверхностей.

4. Проверка соответствия соотношений основных параметров, определяющих принятие технологических решений, предварительно вычисленных по описанным в ПФ уравнениям.

5. Проверка совпадения точностных параметров решением уравнений по п.п.3 относительно переменных W , описывающих погрешности взаимного расположения, при $X = \text{const}$.

6. Определение возможности доступа для обработки расчетом наличия пересечения характерных линий или поверхностей с другими поверхностями детали.

Для обеспечения идентификации $\Gamma_{\text{вх}}$ ПФ должна содержать варианты матричных преобразований, описывающие допустимое взаимное расположение составляющих поверхностей. Показано, что граф смежных поверхностей $\Gamma_{\text{вх}}$, ПФ может иметь варианный характер. Определен набор понятий и функций необходимых для описания процедуры идентификации. Определены основные положения процедуры модификации модели промежуточного состояния детали. Модификация выполняется в следующей последовательности:

1. Построение выходного графа смежных поверхностей на основе входного графа.

2. Внесение изменений в список поверхностей, определяемых содержанием метода обработки.

3. Изменение матричных преобразований путем добавления сомножителей - матриц, описывающих погрешности, исправляемые данным методом обработки.

4. Построение новых линий пересечения и определение локальных характеристик линий пересечения.

Разработаны правила построения дерева вариантов ТП, основанные на общих закономерностях технологии машиностроения. Введена модель дерева вариантов в виде "И" и "ИЛИ" граф-дерева. Вершинами граф-дерева вариантов являются геометрические модели промежуточных состояний детали, а дугами - преобразующие функции. Вер-

шина - потомок образуется путем применения процедуры модификации к исходной вершине. Предложено условие независимости преобразующих функций Π_i , Π_j формализованное в виде логического выражения

$$(Z_{gi} \cup Z_{gj} = \emptyset) \vee ((Z_{gi} \cup Z_{gj} \neq \emptyset) \wedge (Z_{mi} \cup Z_{mj} = \emptyset) \wedge (Z_{mi} \notin Z_{gj}) \wedge (Z_{mj} \notin Z_{gi})),$$

где Z_{gi} - зоны идентификации Π_i , определяемые как множества компонентов модели детали, принимаемых во внимание при идентификации, Z_{mi} - зоны модификации Π_i , определяемые как множества компонентов модели детали, принимаемых во внимание при модификации.

Выявлено, что независимые Π определяют вершину типа "И". Множество дуг - Π , исходящих из вершины типа "И" трактуется как множество Π , порядок выполнения которых не играет роли, но все они должны быть совершены. Каждая вершина типа "И" таким образом, имеет выходящие из нее гипердуги. Определен процесс раскрытия вершины как применение оператора порождения, который порождает всех потомков данной вершины.

Выявлены 3 типа преобразующих функций, различающихся соотношением точности исходной и выходной вершины. Π I рода вызывает снижение точности вершины-потомка (обработка резанием); Π 2 рода вызывает повышение точности вершины-потомка (точечная обработка); Π 3 рода не изменяют точностных параметров (гальваническая обработка, покрытия).

Выявлено, что Π 2-го рода имеет преимущество перед Π I-го рода, в свою очередь Π 3-го рода имеет преимущество перед Π 2-го рода при выборе дальнейшего пути на дереве вариантов Π .

Обоснован принцип целостности графа связей, заключающийся в запрещении Π , приводящих к удалению из дерева связей узловых вершин, как следствие получен принцип минимума связей, обеспечивающий преимущество Π , модифицирующих поверхности, имеющие минимальное количество связей при равной точности.

Обоснован принцип выравнивания точности, как следствие общего принципа разделения Π на этапы по признаку равенства точностных параметров. По этому принципу преимущество имеют Π , модифицирующие поверхности наибольшей точности (как самой поверхности, так и наложенных связей).

Разработана стратегия синтеза, определяющая последовательность применения правил.

Отмечено, что разработанный метод основан на известных пра-

вилах и принципах технологии машиностроения, формализованных в терминах предложенной стратегии синтеза преобразующих функций.

Разработанный метод синтеза обеспечивает автоматическую генерацию всех возможных вариантов ПП на основе геометрической модели детали и базы знаний ПФ.

Показан множественный характер дуг на дереве вариантов. Предложен алгоритм выбора единственного варианта на основе эвристических правил.

Отмечена независимость правил синтеза технологических процессов (общих технологических знаний) от преобразующих функций (предметных знаний).

Третья глава посвящена разработке и исследованию модели предметных технологических знаний.

Поставлена задача моделирования компонентов технологического перехода – средств технологического оснащения (СТО) и траектории формообразующих движений, обеспечивающего выполнение точностных расчетов в процессе выполнения преобразующих функций. Приведена структура технологической системы, содержащей локальные системы координат, связанные с компонентами СТО, и матричные преобразования координат. Выделены следующие составляющие: стол станка – приспособление – базовые поверхности – модель промежуточного состояния детали – $ГМ_{вх}$ ПФ – режущая часть инструмента – базовые поверхности инструмента – гнездо для инструмента – стол станка. Базирование путем применения измерительных средств на станке сокращает цепь. Предложено описывать связи между составляющими при помощи произведения матриц элементарных геометрических преобразований, что обеспечивает единый подход к расчетам, связанным с геометрической моделью детали и технологической системы. Получено уравнение пространственной размерной цепи вида

$$\prod_{i=1}^N M_i = I,$$

где M_i – матрица элементарного преобразования – связи между компонентами технологической системы,

N – количество компонентов размерной цепи,

I – единичная матрица.

Разработаны модели компонентов СТО, основанные на приведенных теоретических положениях. Отмечено, что известный способ моделирования СТО в виде таблиц функциональных параметров не обес-

печивает достоверность выбора СТО в процессе проектирования.

Показано, что помимо таблиц функциональных параметров в модель СТО входят матричные преобразования – связи между составными частями, моделирующие геометрические и точностные параметры СТО.

Показано, что модель станка дополнительно должна содержать уравнения, описывающие фактические отклонения направляющих от номинальной формы. Определен вид таких уравнений для многооперационного станка. Разработана процедура, позволяющая учитывать фактическую форму направляющих при расчете координат станка. Применение такой процедуры позволяет повысить точность управляющей программы.

Показано, что модель приспособления дополнительно должна содержать описание базовых поверхностей детали, пригодных для базирования в этом приспособлении, в терминах $ГМ_{ВХ}$ преобразующей функции.

Матричная модель пригодна для моделирования устройств для крепления инструмента. Предложена оригинальная конструкция приспособления для механизированного крепления инструмента, отличающаяся применением раздельного, по двум взаимно перпендикулярным направлениям, способа базирования. Предложенное устройство обеспечивает уменьшение погрешности повторной установки инструментального блока в держатель. Модель устройства содержит вариантную матрицу геометрического преобразования "гнездо инструмента" – "базирующие поверхности инструмента". Уравнение пространственной размерной цепи и модели средств технологического оснащения обеспечивают выполнение формальных расчетов настроечных параметров технологических систем. При этом в качестве замыкающего звена принимается матричное преобразование "гнездо инструмента – стол станка", содержащее в качестве переменных координаты станка. Решение уравнения размерной цепи относительно координат станка обеспечивает получение значений параметров настройки станка в каждой опорной точке траектории, эта информация, в свою очередь обеспечивает получение управляющей программы. Отсутствие решения уравнения свидетельствует о неверном выборе СТО, составляющих технологическую систему.

Обоснована методика расчета погрешностей технологических систем, вследствие геометрических погрешностей СТО и погрешности базирования. В основу положен метод статистических испытаний.

В этом случае в качестве замыкающего рассматривается звено "режущая часть инструмента - входная модель ПФ". При постоянных значениях координат станка оценивается фактическое рассеивание положения вектора инструмента относительно обрабатываемой детали.

Исследована возможность использования моделей СТО и пространственных размерных цепей при выборе схемы базирования детали. Приведены типовые схемы базирования применяющиеся в производстве технологической оснастки. Показано, что несовпадение конструкторских и технологических баз приводит к модификации модели промежуточного состояния детали, добавлению вершин и связей. Дополнительные связи определяются путем решения обратной задачи расчета размерной цепи, где по известному значению замыкающего звена определяются значения составляющих звеньев. Показано, что несовпадение технологических и измерительных баз приводит к повышению точности связей на графе связей. Выявленные закономерности позволяют формализовать выбор схемы базирования для каждой технологической системы с учетом типовых схем и расчетов погрешностей.

Обоснована возможность отказа от выделения задачи выбора схем базирования на протяжении всего ТП и сведения ее к выбору баз для каждого технологического перехода в рамках преобразующих функций. Это позволяет уменьшить количество уровней проектных задач при синтезе маршрутов. Предложен алгоритм выбора СТО на основе учета принятых ранее решений, что позволяет уменьшить число генерируемых вариантов ТП.

Таким образом ряд технологических задач синтеза ТП (идентификация ПФ, выбор оснастки, проверка реализуемости технологической системы на основе выбранных СТО, точностной контроль технологических систем, модификация ПФ) сводится к решению матричных уравнений. Исследован вид этих уравнений и сводимость к задаче решения систем нелинейных уравнений.

Разработан язык описания матричных уравнений пространственных размерных цепей на основе элементарных преобразований поворота и параллельного переноса. Разработан пакет программы, обеспечивающих чтение и контроль исходного описания, вычисление произведений матриц, формирование системы нелинейных уравнений, решение системы одним из способов (Ньютона-Рафсона, Брауна, Якоби, Гаусса-Зеделя, релаксации, прямой подстановки). Пакет прог-

рамм испытан на конкретных примерах.

Предложена сетевая модель преобразующей функции, включающая входную и выходную геометрическую модели, алгоритм расчета траектории формообразующих движений, требований к средствам технологического оснащения. Обосновано положение о необходимости выделения двух основных компонент в предметных технологических знаниях: собственно преобразующих функций, как алгоритмов, и базы знаний средств технологического оснащения.

Выявлено, что возможны одношаговая, многошаговая и полная модели ПФ. Одношаговая приводит к порождению единственной вершины дерева вариантов ТП, многошаговая – нескольких, полная – граф-решение. При этом многошаговая ПФ аналогична алгоритму МОП, полная – групповому ТП. Таким образом, преобразующая функция является более общим понятием по сравнению с маршрутом обработки поверхности, используемым в известных методах синтеза ТП.

Четвертая глава посвящена разработке способа представления и программного обеспечения преобразующих функций.

Разработана структура АСТПП, реализующей метод синтеза ТП механической обработки. Показано, что структура такой АСТПП полностью соответствует общей структуре экспертных систем. Преобразующие функции являются правилами продукции, модель промежуточного состояния детали – "доска объявлений" экспертной системы, правила синтеза и последовательность их применения образуют "диспетчер" экспертной продукционной системы. Анализ составляющих АСТПП привел к выводу необходимости первоочередной разработки базы знаний преобразующих функций и методов ее создания, как ключевого звена АСТПП. Кроме того, такая база может использоваться автономно и приносить реальный эффект без остальных частей АСТПП, в течение срока их разработки.

Исследованы закономерности построения базы знаний СТО (ЕЗСТО). Выявлено, что модель ЕЗСТО является семантической сетью. Определены основные типы вершин и дуг. Выделены вершины – классы и вершины – экземпляры. Дуги представляют собой бинарные отношения. Предложен алгоритм реализации внутренних связей.

Приведенные теоретические положения легли в основу разработанного языка представления процедур принятия технологических решений – технологической составляющей ПФ.

Отличительной особенностью языка является выделение 2-х основных частей: языка проектирования технологических процессов

(ЯПТ) и алгоритмического специализированного языка "ПИОН". Такое разделение позволило сократить сроки внедрения АСПТ, поскольку ЯПТ обладает возможностями диалогового проектирования ТП, и повысить производительность программирования технологических алгоритмов путем запоминания действий технолога. Таким образом реализован принцип "обучения" системы. Приведены основные понятия ЯПТ и "ПИОН".

Отличительными особенностями языка "ПИОН" является наличие: "обучающего" режима программирования технологических алгоритмов, встроенных средств работы с реляционной базой данных, функций построения сетевых и иерархических алгоритмов, встроенного аппарата нечеткой логики, простота эксплуатации.

Разработаны интерпретаторы ЯПТ и "ПИОН", составляющие основу АСПТ "АСТРА". Разработана структура и программное обеспечение БЗСТО предприятия. В состав БЗСТО входят многшаговые и одношаговые ПД, программные модули выбора СТО и расчета некоторых нестандартных инструментов, норм времени. Язык "ПИОН" применялся при выполнении исследовательских работ в области теории резания металлов.

Использование перечисленного программного обеспечения в производстве позволяет сделать вывод об его адекватности предметной области. Разработанное программное обеспечение содержит 12 тыс.строк на языке "ПАСКАЛЬ" и 4 тыс.строк на языке "ПИОН". ПО реализовано в ОС РВ на СМ ЭВМ.

Рассмотрены перспективы построения единой сети АСПТ. Показано, что такая сеть может иметь структуру вертикального типа, состоящую из ЭВМ 3-х уровней. На верхнем уровне поддерживается глобальный банк ПЗ, на основе которого формируется база знаний ПД предприятий (2-й уровень) и пользователей (3-й уровень). Модульная структура базы знаний ПД обеспечивает простоту создания баз знаний предприятий и поддержания знаний в актуальном состоянии, которые заключаются в замене устаревших и добавлении новых ПД. Новые ПД могут создаваться на основе исследований в области технологии машиностроения. Выдвинуты требования к техническим средствам АРМ технолога.

Пятая глава посвящена вопросам определения технико-экономической эффективности результатов проведенных исследований. Основная экономика складывается за счет: сокращения затрат времени на проектирование технологических процессов, повышения производи-

тельности труда программирования технологических алгоритмов и разработки базы знаний АСТПШ предприятия; повышения качества технологической документации и количества вносимой информации. Опыт внедрения результатов работы показал, что увеличение производительности проектирования ТП зависит от заполненности базы знаний и может колебаться от 2-х до 15-ти раз.

Внедрение разработок подтвердило необходимость наличия в АСТПШ различных методов проектирования ТП – от метода поиска и корректировки ТП – аналога, до метода синтеза.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработанная модель представления предметных технологических знаний в виде преобразующих функций обеспечивает синтез технологических процессов.

2. Применение ПФ позволяет сократить количество уровней представления технологических знаний, повысить адаптивные свойства АСТПШ и обеспечить приспособляемость системы к непрерывно изменяющимся производственным условиям. Обеспечивается возможность адаптации АСТПШ на основе банка технологических знаний.

3. Разработанный метод синтеза ТП обеспечивает синтез с объединением на одном уровне задач выбора схемы базирования, определения последовательности обработки, выбора средств технологического оснащения, расчета траектории перемещения инструментов.

4. Разработанные методы идентификации преобразующих функций и модификации геометрической модели детали обеспечивают синтез ТП на основе геометрической модели детали, получение моделей промежуточных состояний детали.

5. Выявленные основные закономерности процесса построения вариантов последовательности обработки обеспечивают генерацию ограниченного числа вершин дерева вариантов ТП.

6. В базе знаний АСТПШ можно выделить две основные составляющие: собственно преобразующие функции, базу знаний средств технологического оснащения (БЗСТО). Модель БЗСТО является семантическая сеть. Модели средств технологического оснащения должны содержать матричные преобразования, описывающие геометрические и точностные параметры СТО.

7. Разработаны методы решения задач технологического проектирования на основе пространственных размерных цепей. Эти задачи сведены к решению матричных уравнений. Разработана программная

система, обеспечивающая решение этих задач.

8. Разработано программное обеспечение в виде интерпретатора языка представления преобразующих функций "ПИОН" и языка проектирования технологических процессов (ЯТП), составляющее основу АСТПП "АСТРА". Разработаны прикладные программы на языке "ПИОН", реализующие БЭСТО предприятия, а также технологическую часть некоторых одношаговых и многошаговых ПФ. Эксплуатация программного обеспечения подтвердила правильность теоретических положений.

9. Результаты исследований в составе АСТПП "АСТРА" внедрены на 10-ти предприятиях различных отраслей промышленности с экономическим эффектом 141,322 тыс.руб. АСТПП "АСТРА" внедрена в учебный процесс на кафедре "Технологии инструментального производства" Фрунзенского политехнического института. Передана для внедрения на кафедру "Технология машиностроения и рсужий инструмент" МТУ им.Н.Э.Баумана.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Вальтер А.В. Профессиональный язык инженера-технолога //Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции. - Фрунзе, 1986. - С.11-12.

2. Андреев А.А., Вальтер А.В., Диланян Р.З. Выбор и проектирование средств технологического оснащения в САПР-ТП //Электронная промышленность. - 1987. - № 7. - С.31-34.

3. Андреев А.А., Вальтер А.В. Система автоматизированного проектирования технологических процессов "АСТРА" //Электронная промышленность. - 1987. - № 7. - С.28-30.

4. Вальтер А.В. и др. Опыт разработки и эксплуатации автоматизированной системы со "сквозным" циклом технологической подготовки мелкосерийного производства/ А.В.Вальтер, А.А.Андреев, В.В.Ломтев, И.Г.Агай //Автоматизация проектирования средств технологического оснащения в машиностроении и приборостроении: материалы Всесоюзной конференции. - Рига, 1988. - С.27-29.

5. А.С. 1404248 СССР: МКИ В 23В 29/03. Устройство для механизированного крепления инструмента /А.В.Вальтер, А.А.Андреев //Открытия, изобретения, товарные знаки. - 1988.-№ 23.