

М418481

НА 10.1
НЕ ВЕРНЕТСЯ

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена
Трудового Красного Знамени высшее техническое училище
им.Н.Э.Баумана

На правах рукописи

САРАТОВ АНАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ
ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Специальность 05.13.12

Системы автоматизированного проектирования
и автоматизация технологической подготовки производства
(отрасль - промышленность)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1984 г.

Работа выполнена в Институте технической
кибернетики Академии наук БССР

Научный руководитель - доктор технических наук В.Д.Цветков.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Н.М.Капустин,

кандидат технических наук
D.B.Балабанов.

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного
совета.

Защита состоится 7 июня 1984 года в 14 часов на заседа-
нии специализированного совета ДО 53.15.03 в Московском инстем
техническом училище имени Н.Э.Баумана. г. Москва, 2-я Бауманс-
кая, д. 5.

С диссертацией
Института технического

Автореферат ра

Ученый секретарь
совета канд

M417 481

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одним из основных направлений работы по ускорению научно-технического прогресса в машиностроении является создание систем автоматизации технологического проектирования (САПР-Т), которые позволяют не только сократить сроки и стоимость технологической подготовки производства, но и повысить качество технической документации. В настоящее время разработан ряд систем, базирующихся на использовании методов типизации и групповой технологии и предназначенных для автоматизированного проектирования процессов обработки типовых деталей.

Основой дальнейшего развития САПР-Т является разработка теории синтеза технологических процессов и формализация процессов проектирования. При проектировании процессов механической обработки одним из наиболее сложных и ответственных этапов является выбор технологических баз, поскольку базы определяют геометрическую схему технологического процесса, то есть структуру размерно-точностных связей черновых, предварительно обработанных и чистовых поверхностей детали, а также требования к оснастке для реализации выбранных схем базирования. Тем самым решение вопроса о базах во многом предопределяет маршрут обработки, точность выполнения заданных размеров, конструкцию приспособлений, режущих, мерительных и вспомогательных инструментов, величины припусков, общую производительность и экономичность обработки деталей. Отсутствие общих формализованных правил выбора баз сдерживает создание универсальных алгоритмов проектирования маршрута обработки детали и всего технологического процесса в целом. Полный же перебор возможных вариантов базирования весьма трудоёмок и не обеспечивает достаточной эффективности решения задачи.

Указанные обстоятельства определяют актуальность дальнейших исследований в области теории базирования, формализации процесса назначения технологических баз и создания математической модели процесса, которая могла бы быть эффективно реализована на ЭВМ.

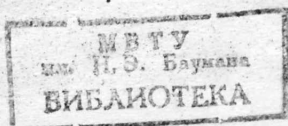
Цель работы. Разработка и внедрение формализованного метода назначения технологических баз, универсального относительно конфигурации детали, её размеров, точности, условий производства и обеспечивающего эффективное решение задачи о базах как при обыч-

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1417481

Саратов А.А. Моделирование



ном, так и при машинном проектировании технологических процессов. Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

1. Анализ геометрической схемы технологического процесса и формализация свойств допустимых вариантов базирования.
2. Разработка математической модели задачи выбора баз.
3. Разработка метода и алгоритмов синтеза геометрической схемы технологического процесса с заданными свойствами и отвечающей принятому критерию оптимальности.

Методы исследования. Работа базируется на методологии системного подхода к построению объектов и процессов проектирования. Для решения поставленных задач использовался аппарат теории графов, математической логики, теории множеств, теории размерных цепей и теории базирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Создана математическая модель задачи выбора баз, отражающая связи вариантов базирования с размерно-точностными характеристиками детали и заготовки, технологическими характеристиками оборудования и оснастки, требованиями к видам и взаимному расположению баз, а также с экономичностью изготовления детали.

2. Разработан метод выбора баз и синтеза технологических размерных цепей, который в отличие от известных методов позволяет учитывать влияние любого решения о способе получения каждого отдельного размера детали на сложность получения остальных размеров и обеспечивает выбор такого комплекса черновых, чистовых и промежуточных баз, который отвечает заданным требованиям и принятому критерию оптимальности.

3. Показан итерационный характер процесса синтеза оптимального варианта базирования.

Практическая ценность. На основе проведенных исследований разработана новая практическая методика назначения технологических баз, которая значительно облегчает решение задачи о базах и может быть использована для изделий серийного и массового производства, характеризующихся широким распространением методов автоматического получения точности. Разработана программа ЭВМ ЕС-1022 автоматизированного выбора технологических баз, которая может быть использована для создания типовой САПР-Т, легко адаптируемой

к производственным условиям различных предприятий.

Реализация работы. Разработанная программа выбора баз внедрена в одном из научно-исследовательских институтов. Разработанная методика назначения технологических баз внедрена на ряде машиностроительных предприятий (Тульский завод "Штамп" им.Б.Л.Ванникова, Челябинский станкостроительный завод им.С.Орджоникидзе и др.). Общий экономический эффект от внедрения составил 46,5 тыс. рублей.

Апробация работы. Отдельные разделы и работа в целом докладывались и обсуждались на заседаниях кафедр технологии машиностроения Тульского политехнического института (ТПИ), Ленинградского института точной механики и оптики (ЛИТМО), Ленинградского завода "ВТУЗ", рассматривались на научном совете по проблеме "Автоматизация проектно-конструкторских работ", научно-техническом семинаре лаборатории автоматизированных систем технологического проектирования Института технической кибернетики АН БССР и научно-техническом семинаре факультета АМ Московского высшего технического училища им.Н.Э.Баумана (МВТУ).

Публикация. По теме диссертации опубликовано 6 работ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Основное содержание работы изложено на 104 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков, 7 таблиц и список литературы из 97 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертации, обоснован выбор метода исследований, определен круг решаемых задач и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены существующие технологические правила выбора баз и методы автоматизации решения задачи о базах, предложенные различными авторами; перечислены задачи, решение которых необходимо, но не нашло отражения в литературе; поставлена цель и сформулированы задачи исследования.

Показано, что известные рекомендации по выбору баз отражают влияние производственных факторов на возможные варианты базирования и списывают наиболее предпочтительные способы автоматического получения точности различных размеров детали.

Что же касается влияния взаимосвязи решений о способах получения точности различных размеров на выбор технологических баз, то характер этого влияния исследован недостаточно.

Существующие методы автоматизированного выбора баз, основанные на полном переборе и анализе всех возможных вариантов базирования, очень трудоёмки и малоэффективны, а методы целенаправленного синтеза рациональных вариантов, основанные на различных частных решениях, имеют весьма ограниченную область применения. Основной недостаток этих методов заключается в том, что выбор баз для получения каждого отдельного исходного размера производится без надлежащего учета влияния принимаемого локального решения на сложность получения других размеров детали. Однако, как правило, выбор наиболее легкого способа получения одного размера в той или иной степени затрудняет получение остальных. Поэтому для решения задачи выбора баз необходимо согласование критериев оптимальности локальных решений между собой и с общим критерием оптимальности технологического процесса.

Геометрическая схема технологического процесса, как совокупность локальных решений о базах, представляет собой сложный объект, характеризующийся структурой, функцией и свойствами. В работе поставлены задачи формализации и системного анализа геометрической схемы технологического процесса, определения её структурных и функциональных свойств и разработки метода синтеза её оптимальной структуры с заданными функциями и свойствами.

Во второй главе в соответствии с поставленными задачами проводится формализация и системный анализ геометрической схемы технологического процесса. Исследуются взаимные связи технологических размерных цепей и связи структуры цепей с характеристиками детали и заготовки, оборудования и оснастки, маршрутами (планами) обработки поверхностей и маршрутной технологией в целом. Выводятся заключения о структурных и функциональных свойствах геометрической схемы технологического процесса. Анализируются свойства схем базирования в отношении геометрической формы, размеров и взаимного расположения базирующих поверхностей. Предложен критерий оптимальности баз и описаны алгоритмы оценки структуры технологических размерных цепей.

Геометрическая схема технологического процесса описывается графом $Q = (П, Г)$, вершины $(П)$ которого соответствуют поверх-

ностям, а ребра - условиям их взаимного расположения и размерам. Поверхность после каждого этапа (ступени) её обработки представлена отдельной вершиной $\Pi_{i\alpha}$ с двумя индексами, обозначающими соответственно номер поверхности и число выполненных этапов. Операционные размеры обозначаются дугами $S_{i\beta}^{i\alpha\beta} = (\Pi_{i\alpha}, \Pi_{j\beta})$, направленными из вершин $\Pi_{i\alpha}$, соответствующих технологическим базам, в вершины $\Pi_{j\beta}$, соответствующие обработанным от этих баз поверхностям (рис.1). Конструкторские размеры детали и размеры заготовки обозначаются ребрами $R_{iR}^{i\alpha m} = (\Pi_{i\alpha}, \Pi_{j\alpha})$ и $Z_{i\beta}^{i\alpha} = (\Pi_{i\alpha}, \Pi_{j\alpha})$. Количество (m) этапов определяется маршрутом обработки поверхности $\Pi_{j\alpha}$ (МОП). очередность обработки поверхностей, определяемая базированием, описывается порядковыми метками ($\mu_{j\beta}$) вершин, каждая из которых обозначает число дуг пути, связывающего вершину с корневой вершиной $\Pi_{1\alpha}$, соответствующей черновой базе.

Вершинам $\Pi_{i\alpha}$ приписываются кортежи параметров, характеризующих геометрическую форму $W_{i\alpha}$, размеры $L_{i\alpha}^x, L_{i\alpha}^y, L_{i\alpha}^z$, площадь $\Phi_{i\alpha}$, шероховатость $Ch_{i\alpha}$ поверхностей, методы $B_{i\alpha}$ их обработки, а также ориентацию $\psi_{i\alpha}$ поверхностей относительно выбранной координатной системы. Соответственно ребрам $R_{iR}^{i\alpha m}$ и $Z_{i\beta}^{i\alpha}$ приписываются параметры, характеризующие номинальные величины $H_{iR}, H_{i\beta}^3$, допуски $\delta_{iR}, \delta_{i\beta}^3$ и координатные направления $K_{iR}, K_{i\beta}^3$ простановки размеров, а дугам $S_{i\beta}^{i\alpha\beta}$, кроме того, - вид $\psi_{i\beta}^{i\alpha\beta}$ технологической базы $\Pi_{i\alpha}$ (опорная, настроечная, проверочная) и оценка стоимости $q_{i\beta}$ реализации назначенного операционного размера $S_{i\beta}^{i\alpha\beta}$.

Возможности построения дуг $S_{i\beta}^{i\alpha\beta}$ определяются конфигурацией и размерами детали, характеристиками оборудования и оснастки и описываются полным симметричным орграфом $G^v = (V, \Pi)$, каждой дуге $V_{i\alpha}^{i\beta}$ которого приписаны оценки $q_{i\alpha}^{i\beta}$. Величина $q_{i\alpha}^{i\beta}$ характеризует затраты на оснастку, необходимую для использования поверхности $\Pi_{i\alpha}$ в качестве базы для обработки поверхности $\Pi_{j\beta}$.

В работе рассмотрены следующие основные свойства геометрической схемы технологического процесса (ГСП).

1. Допуск δ_{iR} замыкающего звена (исходного размера) технологической размерной цепи равен сумме допусков составляющих звеньев $\delta_{i\beta}^5$.

2. В каждом координатном направлении $K_{i\beta}^5$ любая обрабатываемая поверхность $\Pi_{j\beta}$ имеет ровно одну базу.

3. Для каждого операционного размера $S_{i\beta}^{i\alpha\beta}$ с допуском $\delta_{i\beta}^5$ имеется технологическая размерная цепь $\Pi_{i\alpha}^{i\beta(i-1)} = \{\Pi_{j\beta}, \dots, \Pi_{j(i-1)}\}$, 5

построенная относительно операционного припуска на β -ю обработку поверхности $\Pi_{j(\beta-1)}$, и сумма допусков звеньев цепи $\Pi_{i\alpha}^{j\beta(\beta-1)}$ не превышает допуска $\delta_{i\beta}^s$, умноженного на величину $\varepsilon_{j\beta}$ уточнения β -го этапа.

Третье свойство отражает тот факт, что при каждой последующей обработке поверхностей детали в той или иной степени копируются погрешности предыдущей.

4. К моменту обработки поверхности $\Pi_{j\beta}$ от её базы $\Pi_{i\alpha}$ обе поверхности $\Pi_{i\alpha}, \Pi_{j\beta}$ уже получены и еще не уничтожены последующей обработкой.

В общем случае одна базирующая поверхность не может обеспечить лишение детали всех степеней свободы. Поэтому для необходимой фиксации положения детали при её обработке используется несколько баз. Для выполнения функций базирования комплект баз B_κ должен обладать определенными свойствами W в отношении формы, размеров и взаимного расположения базирующих поверхностей. Эти свойства описываются формулой

$$W(B_\kappa) = \bigwedge_{i=1}^2 \bigwedge_{j=1}^3 W(B_\kappa)_{ij}, \quad (1)$$

где $W(B_\kappa)_{ij}$ - свойства комплекта баз, необходимые для выполнения определенной функции базирования.

$$W(B_\kappa)_{ij} = f(m_{ij}),$$

где m_{ij} - значение свойства "обладать i -й степенью свободы относительно j -й оси координат $m_{ij} = 0, 1$ ("ложно" и "истинно". $i = 1; 2$ соответственно для поступательного и вращательного перемещения.

В работе сформулированы следующие свойства $W(B_\kappa)_{ij}$:

$$m_{1j}=1 \quad W(B_\kappa)_{1j} = \forall \Pi_n \{ \omega_{nj}^n \}; \quad (2)$$

$$m_{1j}=0 \quad W(B_\kappa)_{1j} = \exists \Pi_n \{ \bar{\omega}_{nj}^n \}; \quad (3)$$

$$m_{2j}=1 \quad W(B_\kappa)_{2j} = \forall \Pi_n \{ \omega_{nj}^n \vee \bar{\omega}_{nj}^n \vee \omega_{nj}^s \}; \quad (4)$$

$$m_{2j}=0 \quad W(B_\kappa)_{2j} = \exists \Pi_n \exists \Pi_n \{ \bar{\omega}_{nj}^n \wedge \bar{\omega}_{nj}^n \wedge [(L_{nj}^i \geq L_{min}^i) \wedge \bar{\omega}_{nj}^s \vee (L_{min}^i \geq L_{min}^i) \wedge (\bar{\omega}_{nj}^s \vee \bar{\omega}_{nj}^s)] \} \quad (5)$$

где ω_{nj}^n - значение свойства "плоскость контакта в n -й опорной точке параллельна оси j ";

ω_{nj}^N - значение свойства "плоскость контакта в n -й опорной точке перпендикулярна оси j ";

ω_{nj}^B - значение свойства "одна из поверхностей, соприкасающихся в n -й опорной точке, есть поверхность вращения вокруг оси j ";

ω_{nj}^O - значение свойства "ось j проходит через опорную точку n ";

l_{min}^i - минимально допустимая протяженность направляющей базы в направлении оси i , перпендикулярной j .

l_{min}^i - проекция расстояния между опорными точками m и n на плоскость i , перпендикулярную оси j .

В качестве критерия оптимальности структуры технологических размерных цепей выбрана сумма стоимостных оценок тех элементов себестоимости обработки детали, которые в наибольшей степени зависят от выбора баз. Такими элементами являются:

- затраты на оснастку, необходимую для реализации выбранных схем базирования;

- затраты на повышение точности обработки, связанные с пересчетом допусков при несовпадении конструкторских баз с технологическими;

- затраты на металл, снимаемый с заготовки при её обработке (суммарные припуски).

Эти затраты соотносятся к технологическим размерным цепям $\Pi_{i\alpha}$ и выражают стоимость $C_{i\alpha}$ их реализации. Выражение для общей оценки оптимальности ГСТП имеет вид:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i\alpha=1}^{N_{\alpha}} (C_{i\alpha}^{\delta} + C_{i\alpha}^{\eta} + C_{i\alpha}^{\pi}), \quad (6)$$

где N_{α} - число технологических размерных цепей, построенных относительно конструкторских размеров и операционных припусков;

$C_{i\alpha}^{\delta}$ - оценка стоимости достижения требуемой точности операционных размеров из $\Pi_{i\alpha}$

$$C_{i\alpha}^{\delta} = \frac{1}{N_{i\alpha}} \sum_{j=1}^{N_{i\alpha}} \frac{A_{i\alpha j}}{\left(\frac{\sigma_{\alpha}^2}{N_{i\alpha}} - \Delta_{i\alpha j} \right)} B_{i\alpha j},$$

где $N_{i\alpha}$ - число составляющих звеньев цепи $\Pi_{i\alpha}$;

$A_{i\alpha j}, \Delta_{i\alpha j}, B_{i\alpha j}$ - константы, зависящие от вида обрабатываемой

поверхности из $\Pi_{i\pi}$, метода её обработки, используемого оборудования, инструмента и других факторов;

$C_{i\pi}^n$ - оценка стоимости технологической оснастки, необходимой для реализации баз из цепи $\Pi_{i\pi}$

$$C_{i\pi}^n = \frac{1}{N_{i\pi}} \sum_{j=1}^{N_{i\pi}} g_{i\pi j}^n,$$

где $g_{i\pi j}^n$ - оценка стоимости приспособления для реализации j -го операционного размера из $\Pi_{i\pi}$;

$C_{i\pi}^z$ - оценка величины операционного припуска на β -ю обработку поверхности $\Pi_{j\beta}$, вычисляемая для цепей

$\Pi_{i\pi}^{(j, \beta-1)} = \{\Pi_{j\beta}, \dots, \Pi_{j(\beta-1)}\}$, построенных относительно припусков.

$$C_{i\pi}^z = \Theta^M \cdot \Phi_{j\beta} \sum_{j=1}^{N_{i\pi}} \delta_{i\pi j},$$

где Θ^M - коэффициент, учитывающий стоимость обрабатываемого материала;

$\delta_{i\pi j}$ - допуск на j -е составляющее звено цепи $\Pi_{i\pi}$.

Величины оценок $A_{i\pi j}$, $\Delta_{i\pi j}$, $B_{i\pi j}$ определяются по табличным алгоритмам, составленным применительно к производственным условиям конкретного предприятия.

Третья глава посвящается вопросам алгоритмизации синтеза оптимальной геометрической схемы технологического процесса. На основе полученных в предыдущей главе заключений о структурных и функциональных свойствах проектируемого объекта разрабатывается математическая модель задачи о базах. Проводится анализ задачи и обосновывается необходимость создания специального метода её решения. Описывается предлагаемый метод и рассматриваются вопросы его реализации при выборе баз для получения заданных размеров одного координатного направления, как частного случая задачи о базах, а также при выборе баз для получения размеров всех координатных направлений и синтезе схем базирования.

Исходными данными при назначении технологических баз служит информация об обрабатываемой детали и заготовке, маршрутах обработки поверхностей, а также нормативно-справочная информация о функциональных возможностях имеющегося оборудования, оснастки, принятых методов обработки и оценках стоимости реализации этих возможностей.

Техническими ограничениями являются рассмотренные выше

структурные и функциональные свойства геометрической схемы технологического процесса, схем базирования и соответствующих им комплектов баз, а также указания об общности баз для различных поверхностей детали. Последнее ограничение связано с тем, что в отношении отдельных поверхностей заведомо известно, что они должны обрабатываться на одной установке. Чаще всего это имеет место при обработке многоэлементных поверхностей (пазы, уступы, окна и т.п.), обработке детали по копиру или по программе на станках с ЧПУ. Поверхности, имеющие общие базы, формируются в комплекты КПи.

Результатом решения задачи о базах явится описание операционных размеров $S_{is}^{\alpha\beta}$, направленных от технологических баз $\Pi_{i\alpha}$ к обработанным от этих баз поверхностям $\Pi_{j\beta}$.

Задача назначения баз формулируется как задача построения графа с заданными свойствами.

1. Задан смешанный граф $G = (\Pi, \Gamma)$, включающий частичные графы-деревья $G^R = (\Pi, R)$, $G^3 = (\Pi, 3)$, $G^Z = (\Pi, Z)$ и оргграф $G^V = (\Pi, V)$, дугам $V_{ij}^{\alpha\beta} = (\Pi_{i\alpha}, \Pi_{j\beta})$ приписаны положительные веса $g_{ij}^{\alpha\beta}$. Вершинам $\Pi_{i\alpha} \in \Pi$ приписаны кортежи чисел $\{E_{i\alpha}, U_{i\alpha}, L_{i\alpha}^x, L_{i\alpha}^y, L_{i\alpha}^z, A_{i\alpha}, \Delta_{i\alpha}, B_{i\alpha}, \Phi_{i\alpha}, \varepsilon_{i\alpha}, e_{i\alpha}\}$, а ребрам из R и 3 - соответственно кортежи $\{N_{iR}, \delta_{iR}, K_{iR}\}$ и $\{N_{i3}, \delta_{i3}, K_{i3}\}$. Заданы константы u, ϑ^m .

2. Из множества V можно выбирать дуги (замняя обозначения $V_{ij}^{\alpha\beta}$ на $S_{ij}^{\alpha\beta}$; $\mu_{j\beta} = \mu_{i\alpha} + 1$) и строить полупути $\Pi_{cs}^{\alpha\beta}$, причем локальные полустепени захода $\rho_{j\beta}$ вершин $\Pi_{j\beta}$ не должны превышать 1.

3. Требуется построить граф $Q = (\Pi, D)$, $D = R \cup 3 \cup Z \cup V$, обладающий следующими свойствами:

$$1) \forall R_{iR} \exists \Pi_{i\alpha}^{injm} \{K_{i\alpha}^S = K_{iR} \wedge [\sum_{j=1}^{N_{iR}} \delta_{i\alpha}^S = \delta_{iR} \wedge u = 1 \vee \sqrt{\sum_{j=1}^{N_{iR}} (\delta_{i\alpha}^S)^2} = \delta_{iR} \wedge u = 2]\};$$

$$2) \forall \Pi_{j\beta} \forall K_{i\alpha}^S \{ \rho_{j\beta} > 0 \rightarrow \rho_{j\beta}^S = 1 \wedge \mu_{j\beta}^S > \mu_{j\beta}^{S-1} \};$$

$$3) \forall S_{i\alpha}^{\alpha\beta} \exists \Pi_{i\alpha}^{injm} \{ \sum_{j=1}^{N_{i\alpha}} \delta_{i\alpha}^S \leq (\delta_{i\alpha}^S - e_{i\alpha}) \varepsilon_{j\beta} \wedge K_{i\alpha}^S = K_{i\alpha}^{\beta} \};$$

$$4) \forall S_{i\alpha}^{\alpha\beta} \exists \Pi_{i\alpha}^{injm} \{ \psi_{i\alpha}^{\alpha\beta} = 1 \rightarrow W(E_{i\alpha}) = 1 \};$$

$$5) \forall S_{i\alpha}^{\alpha\beta} \exists S_{i\alpha}^{\alpha\beta} \exists S_{i\alpha}^{\alpha\beta} \{ \kappa < \alpha < \rho \wedge \alpha < \beta < u \};$$

и имеющий минимальную сумму оценок $C_{i_{\alpha\beta}}$, вычисляемых для полупутьей $\Pi_{i_{\alpha\beta}}^{i_{\alpha\beta}\beta}$

$$C_{\Sigma} = \min \left[\sum_{\alpha=1}^{N_{\Sigma}} \frac{1}{N_{i_{\alpha}}} \sum_{\beta=1}^{N_{i_{\alpha}}} \left[\frac{A_{i_{\alpha\beta}}}{(\delta_{i_{\alpha\beta}} - \Delta_{i_{\alpha\beta}})^{\delta_{i_{\alpha\beta}}}} + g_{i_{\alpha\beta}} \right] + \vartheta^M \sum_{i=1}^{N_{\Sigma}} \Phi_i \cdot \sum_{k=1}^{N_{i_{\Sigma}}} \delta_{i_{\Sigma k}} \right] \quad (3.1)$$

Как показал анализ математической модели, существующие универсальные методы не могут обеспечить эффективное решение данной задачи, объём исходных данных для которой может достигать нескольких сотен ребер $K_{i_{\Sigma}}$ (размеров детали). Предложенный метод синтеза геометрической схемы технологического процесса основан на разбиении задачи на ряд подзадач, установлении возможных вариантов их решений, связей между решениями подзадач и согласовании локальных критериев решений между собой и с общим критерием оптимальности C_{Σ} .

Разбиение начальной задачи на ряд подзадач осуществляется по функциональному признаку. При выборе чистовых баз целью подзадачи является получение заданной точности одного из размеров детали, при выборе промежуточных и черновых баз - стабилизация припуска на обработку одной из поверхностей. Решением подзадачи является полупуть $\Pi_{i_{\alpha\beta}}$, удовлетворяющий свойствам 1-5 графа Q и соответствующий технологической размерной цепи $\Pi_{i_{\alpha\beta}}$, построенной относительно исходного размера $R_{i_{\Sigma}}^{i_{\alpha\beta}\beta}$ или припуска $Z_{i_{\Sigma}}^{i_{\alpha\beta}\beta}$ ($\beta=1$). Локальный критерий оптимальности решения подзадачи является функцией весов дуг из $\Pi_{i_{\alpha\beta}}$ и отражает стоимость $C_{i_{\alpha\beta}}$ реализации $\Pi_{i_{\alpha\beta}}$. Взаимосвязь решений подзадач выражается в том, что принятие решения для любой из них в той или иной степени ограничивает области принятия решений для остальных. В частности, построение дуги $S_{i_{\alpha\beta}}^{i_{\alpha\beta}\beta}$ исключает возможность захода в вершину какой-либо другой дуги $S_{i_{\Sigma}}^{i_{\alpha\beta}\beta}$, а построение пути $\Pi_{i_{\Sigma}}^{i_{\alpha\beta}\beta} = \{S_{i_{\Sigma}}^{i_{\alpha\beta}\beta}, \dots, S_{i_{\Sigma}}^{i_{\alpha\beta}\beta}\}$ - дуги $S_{i_{\Sigma}}^{i_{\alpha\beta}\beta}$.

Согласование локальных критериев осуществляется путем последовательного вычисления наценок (штрафов) к стоимости альтернативных вариантов решений. Штраф к альтернативному решению рассматриваемой подзадачи выражает прирост стоимости выполнения других подзадач, связанный с ограничением областей выбора их решений. Соответственно локальное решение считается оптимальным, если оно обеспечивает минимальную величину $C_{i_{\alpha\beta}}$ суммы локальных оценок $C_{i_{\alpha\beta}}$, $C_{i_{\Sigma}}$ и штрафов $t_{i_{\alpha\beta}}$, начисленных дугам $S_{i_{\alpha\beta}}$ из $\Pi_{i_{\alpha\beta}}$

$$C_{i\pi} = C_{i\pi}^{\sigma} + C_{i\pi}^{\tau} + C_{i\pi}^z + \sum_{j=1}^{N_{i\pi}} t_{i\pi j}$$

Алгоритм построения графа Q имеет следующий вид (рис. I):

1. На множестве Π вершин исходного графа $G^0 = (\Pi, R \cup Z \cup Z^*)$ построить полный симметричный орграф $G^V = (\Pi, V)$ возможных баз и вычислить для каждой дуги $V_{i\pi}^{i,j\beta} \in V$ величину оценки $g_{i\pi}^V$ сложности оснастки.

2. Выбрать из R очередное ребро $R_{i\pi}^{i,j\beta}$ и построить полупуть $\Pi_{i\pi}^{i,j\beta}$ с минимальной оценкой $C_{i\pi}$.

3. Начислить штрафы $t^{\text{мнне}}$ на дуги $S^{\text{мнне}}(V^{\text{мнне}}) \in \Pi_{i\pi}^{i,j\beta}$, несовместимые с $\Pi_{i\pi}^{i,j\beta}$, то есть заходящие в те же вершины, что и дуги из $\Pi_{i\pi}^{i,j\beta}$.

3.1. Из множества альтернативных вариантов $\Pi_{i\pi}^{i,j\beta}$ исключить все те, которые несовместимы со штрафом дугой $S^{\text{мнне}}(V^{\text{мнне}})$, и на оставшемся множестве выбрать полупуть $\Pi_{i\pi}^{*i,j\beta}$ с наименьшей оценкой $C_{i\pi}^*$.

3.2. Вычислить разность оценок $C_{i\pi}^*$ и $C_{i\pi}$.

3.3. Обновить штраф $t^{\text{мнне}}$

$$t^{\text{мнне}} \leftarrow C_{i\pi}^* - C_{i\pi}$$

4. Проверить, все ли ранее построенные полупуть $\Pi_{j\pi}, \Pi_{j\pi}^*$ соответствуют изменившимся критериям, и если нет, то перестроить те из них, оценки $C_{j\pi}, C_{j\pi}^*$ которых уже не являются минимально возможными.

По окончании этапа 4 локальные критерии оптимальности построенных к данному моменту полупутей $\Pi_{i\pi}$ оказываются согласованными между собой.

5. Если не для всех ребер из R построены полупуть $\Pi_{i\pi}$, то перейти к п.2.

6. Если допуски $\delta_{j\pi}^3$ на размеры заготовки превышают допустимую погрешность $(\delta_{j\pi}^{i,j\beta}, \varepsilon_{j\pi})$ колебания припусков на черновую обработку поверхностей или если согласно принципиальной схеме технологического процесса ни одна из назначенных к данному моменту баз не может быть черновой ($\forall S_{i\pi}^{i,j\beta} \{ \Delta > 0 \}$), то выбрать за исходные ребра припуски $Z_{i\pi}^{i,j\beta-1} = (\Pi_{j\pi}, \Pi_{j\pi}^{i,j\beta-1})$ и перейти к п.2.

7. Для всех операционных размеров $S_{i\pi}^{i,j\beta}$, представленных от опорных баз ($\Pi_{i\pi}^{i,j\beta} = I$), сформировать схемы базирования, обеспечивающие необходимую фиксацию положения детали при её обработке:

7.1. Подставить параметры вершин исхода $\Pi_{i\alpha} \Pi_{j\beta}$ дуг $\delta_{ij}^{\alpha\beta}$, инцидентных вершинам из $\Pi_{i\alpha} \Pi_{j\beta}, \Pi_{i\alpha\alpha}$, в формулу (I) и вычислить значение W .

7.2. Если базы из $B_{i\alpha} \in \Pi_{i\alpha}$ для $\Pi_{i\alpha}$ не обеспечивают требуемой фиксации детали ($W(B_{i\alpha}) = 0$), то дополнить $B_{i\alpha}$ вершинами из Π , параметры которых удовлетворяют невыполненным требованиям (I).

8. Конец.

В главе также приводится алгоритм построения $\Pi_{i\alpha}^{\alpha\beta}$. Реализация известных алгоритмов построения кратчайшего пути на орграфе невозможна, так как в постановке задачи существуют ограничения к ориентации и числу $N_{i\alpha}$ дуг, составляющих $\Pi_{i\alpha}$, заключающиеся в том, что наличие составляющей δ_{ij}^{α} веса дуг делает необходимым учет $N_{i\alpha}$, а свойство 2) графа Q , не накладывая ограничений на локальные полустепени исхода вершин, исключает возможность захода в какую-либо вершину более чем одной дуги.

Формулы для расчета $C_{i\alpha}$ имеют вид:

$$C_{i\alpha}^{\alpha\beta} = C_{i\alpha}^{\alpha} + C_{i\alpha}^{\alpha} + \sum_{j=1}^{N_{i\alpha}} t_{i\alpha j}; \quad C_{j\alpha}^{\beta j(\beta-1)} = C_{j\alpha}^{\beta} + C_{j\alpha}^{\alpha} + C_{j\alpha}^{\beta} + \sum_{j=1}^{N_{j\alpha}} t_{j\alpha j},$$

где $t_{i\alpha j}$ - штраф, приспанный j -й дуге из $\Pi_{i\alpha}$.

В процессе работы алгоритма на первых его шагах определяется возможность построения однозвенного полупути $\Pi_{i\alpha}^{\alpha\beta}$, то есть реализация принципа совмещения баз. Если при этом $C_{i\alpha}^{\alpha\beta}$ превышает ожидаемые оценки для $\Pi_{i\alpha}^{\alpha\beta}$ с большим числом звеньев, то строятся двухзвенные полупути и т.д. По мере увеличения $N_{i\alpha}$ величина $C_{i\alpha}^{\alpha}$ экспоненциально возрастает, поэтому работа алгоритма заканчивается при $N_{i\alpha} < \infty$. Для сокращения перебора возможных баз при построении $\Pi_{i\alpha}^{\alpha\beta}$ из множеств Π выделяются вершины, параметры которых исключают возможность использования соответствующих поверхностей в качестве баз. Оставшиеся вершины разбиваются на подмножества в соответствии с кодами ориентации $\alpha_{i\alpha}$ и геометрической формы $B_{i\alpha}$ поверхностей $\Pi_{i\alpha}$. При поиске возможных баз для $\Pi_{j\beta}$ рассматриваются лишь те поверхности, параметры которых отвечают свойствам (3), (5) соответственно для базирования в осевом и угловом направлениях.

Четвертая глава посвящена вопросам практической реализации работы. Описывается графо-аналитический метод назначения баз при автоматизированном проектировании технологических процессов и приводится пример решения задачи о базах. Описан способ автоматизации

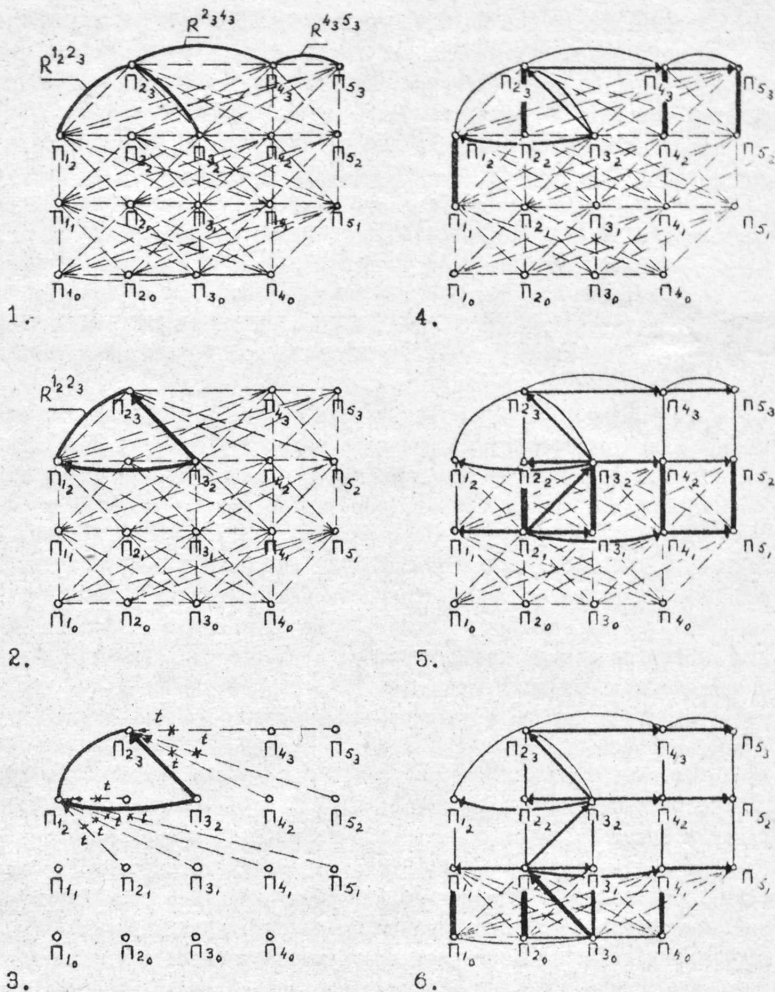


Рис. 1. Схема построения графа Q :

1. Исходный граф G . 2. Построение полупути $\Pi^{(1,2,3)}$.
3. Начисление штрафов на дуги, несовместимые с $\Pi^{(1,2,3)}$.
4. Назначение допусков на операционные припуски.
5. Построение полупути $\Pi^{(1,2,3)}$. 6. Выбор корневой вершины.

зированной выбор баз на ЭВМ, состав исходных данных и выходной информации. Предложен способ информационной связи комплекса программ выбора баз как подсистемы САПРП с другими подсистемами технологического проектирования.

Внедрение новой методики выбора баз на ряде машиностроительных заводов показало её высокую эффективность, позволило оптимизировать структуру технологических размерных цепей и снизить себестоимость механической обработки изделий за счет:

- повышения фактической точности размеров и снижения брака;
- уменьшения операционных и общих припусков;
- уменьшения дополнительных затрат на обработку, связанных с несовмещением конструкторских баз с технологическими и ужесточений операционных допусков.

При машинном проектировании технологических процессов данные о планах обработки поверхностей и характеристиках заготовки формируются подсистемой проектирования принципиальной схемы технологического процесса. Определение множества V возможных баз следует производить путем сопоставления характеристик детали с данными о функциональных возможностях имеющегося оборудования и оснастки, а также оценками стоимости реализации этих возможностей. Полученные оценки g_i являются приближенными и уточняются при работе подсистем проектирования и выбора оснастки для реализации назначенных схем базирования. В случае значительных расхождений предполагаемых и фактических оценок g_i технологические размерные цепи, использующие неверно оценённые базы, должны быть пересмотрены.

Для повышения эффективности САПР-Т информацию о выбранных базах и предполагаемых оценках сложности необходимой оснастки следует выдавать на дисплей автоматизированного рабочего места (АРМ) технолога для проверки и корректировки. Это позволит уменьшить число вариантов базирования, прорабатываемых при машинном проектировании. Разработанная программа позволяет в автоматизированном режиме достаточно эффективно решать задачу выбора баз и построения технологических размерных цепей любого координатного направления. Исходные данные, подготавливаемые технологом, содержат перечень поверхностей и маршрутов их обработки, размеров детали и заготовки, а также оценки возможности использования различных поверхностей детали в качестве баз. Результаты вычислений формируются в массив операционных размеров $S_{i,j}^{1,2,3}$. Как показано на рисунке, использование ЭВМ для автоматизации

выбора баз целесообразно при проектировании технологических процессов обработки деталей сложных форм с числом размеров 20-25 и более. Для деталей с меньшим числом размеров предпочтителен графо-аналитический метод выбора баз.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Задача выбора баз представляет собой систему взаимосвязанных подзадач получения различных размеров детали и стабилизации операционных припусков. Взаимосвязь решений подзадач выражается в том, что принятие решения какой-либо одной подзадачи в той или иной степени ограничивает области выбора решений остальных.

2. Синтез оптимального варианта базирования в общем случае может быть осуществлен лишь за ряд итераций с последовательным уточнением критериальных оценок.

3. В качестве критерия оптимальности баз может быть принята сумма затрат на оснастку, металл, снимаемый с заготовки (припуски), и достижение требуемой точности операционных размеров. На начальных этапах проектирования, ввиду отсутствия достаточных исходных данных для расчета этих затрат, целесообразно использовать балльные критериальные оценки.

4. Реализация принципа декомпозиции задачи и взаимного согласования локальных критериев позволяет осуществлять эффективный синтез схем базирования и технологических размерных цепей.

5. Создана математическая модель задачи выбора баз, отражающая связи вариантов базирования с размерно-точностными характеристиками детали и заготовки, технологическими характеристиками оборудования и оснастки, требованиями к видам и взаимному расположению баз, а также с экономичностью изготовления детали.

6. Разработан метод выбора баз, обеспечивающий взаимное согласование способов получения различных размеров детали и построение комплекса технологических размерных цепей, отвечающего заданным требованиям и принятому критерию оптимальности.

7. Предложен способ функционирования подсистемы выбора баз в САПР-Т.

8. На основе математической модели и метода выбора баз раз-

работаны и внедрены:

- программа ЭВМ ЕС-1022 выбора баз и построения технологических размерных цепей:

- новая практическая методика назначения баз при неавтоматизированном проектировании технологических процессов.

Экономический эффект от внедрения работы составил 46,5 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Саратов А.А. Математическое моделирование процесса выбора баз при машинном проектировании технологических процессов. - Автоматизация процессов проектирования. - Минск, ИТК АН БССР, 1979, вып.4, с.54-64.

2. Саратов А.А. Формализация процесса выбора технологических баз. ДР-69. - Информация о новых поступлениях литературы. - / ЦНИИНТИ, 1979, №11. - 12с.

3. Саратов А.А. Оценка схем базирования при машинном проектировании технологических процессов. ДР-82. - Информация о новых поступлениях литературы. / ЦНИИНТИ, 1978, № 7. - 10 с.

4. Саратов А.А. Построение технологических размерных цепей при автоматизированном проектировании. - ДР-385. - Информация о новых поступлениях литературы. / ЦНИИНТИ, 1983, № 9. - 9 с.

5. Саратов А.А. Классификация схем базирования деталей в установочно-важимых приспособлениях. - Технология машиностроения. - Тула, ТПИ, 1975, вып. 39, с. 213-219.



Зак. 695 тираж 100 экз.
Л-83000 от 5.04.84.

1984г. Типография МВТУ