

На правах рукописи

ОСТРОВСКИЙ ЮРИЙ АНДРЕЕВИЧ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИНТЕЗА СТРУКТУР
ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2000



Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана на кафедре «Технология машиностроения»

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент

А.И. Кондаков

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор

Н.М. Капустин

– кандидат технических наук, доцент

Ю.А. Шачнев

Ведущая организация – Центральный научно-исследовательский
технологический институт

Защита диссертации состоится "5" октября 2000 г. в "16" часов на заседании диссертационного совета К 053.15.15 в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э. Баумана по адресу:
107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

Телефон для справок: (095) 267-09-63

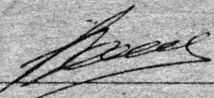
Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан 30 августа 2000 г.

Ученый секретарь

диссертационного Совета

к.т.н., доцент



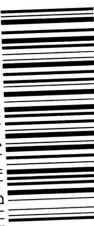
Васильев А.С.

Подписано к печати "13" сентября 2000 г.

Заказ № 1151

Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1568596

Островский Ю.А. Технологич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современное машиностроительное производство характеризуется увеличением многообразия машин по назначению и конструкции; повышением степени их функционального совершенства, что вызывает усложнение конструкций; ростом производительности машин и удельных затрат на их проектирование и изготовление, ужесточением требований к показателям качества машин, таких, например, как ресурс, надежность; расширением номенклатуры применяемых материалов и повышением требований к их характеристикам. За счет расширения механизации, автоматизации различных этапов производственно-технологического цикла изготовления машин непрерывно совершенствуются техническая подготовка и собственно производство. Большинство машиностроительных производств (до 80%) относится к серийному типу, что связано с частыми изменениями номенклатуры выпускаемых изделий.

Объективная необходимость сокращения длительности производственно-технологического цикла при одновременном обеспечении высокого качества принимаемых на его этапах решений вызывает потребность в автоматизации поддержки последних. Это в первую очередь относится к технологической подготовке производства (ТПП), доля трудоемкости которой в полном цикле производства составляет до 40%, и современное состояние автоматизации которой нельзя назвать удовлетворительным.

Важнейшей функцией ТПП является проектирование технологических процессов (ТП) изготовления изделий машиностроения и, в частности, ТП изготовления деталей. Существующие подходы к автоматизации проектирования ТП изготовления деталей, ориентированы либо на применение типовых решений, либо обеспечивают синтез решений для сугубо конкретных классов деталей и производственных условий. При разработке САПР ТП нередко следуют методике традиционного неавтоматизированного проектирования. Распространено мнение, что указанные подходы являются единственно верными и эффективными.

Вместе с тем, существует объективная потребность в создании систем автоматизации проектирования ТП на основе конструкторско-технологического описания предмета (объекта) производства и данных об имеющихся ресурсах (режим синтеза ТП). Создание полноценных систем синтеза ТП позволит осуществлять процесс проектирования (принятия проектных технологических решений) в режиме, близком к режиму реального времени функционирования производственных систем, в которых реализуются разрабатываемые ТП, что необходимо, например, при отработке конструкций на технологичность, адаптации ТП к изменению производственной ситуации и т.п.

Роль специалиста-технолога здесь состоит в своевременной оценке возможных решений и выборе наиболее подходящего для конкретных ус

вий. Средства автоматизации должны выполнять сравнение различных решений и «помогать» специалисту осуществить разумный выбор. Налицо актуальная научно-техническая задача создания систем синтеза ТП изготовления деталей машиностроения, имеющая важное народно-хозяйственное значение. Разработка указанных систем сдерживается отсутствием необходимого технологического обеспечения, поэтому исследования, направленные на создание последнего, следует считать весьма актуальными.

Цель работы. Обеспечение качества проектирования маршрутных технологических процессов, как части задачи обеспечения качества проектных решений при технологической подготовке производства.

Методы исследования. Работа выполнялась в соответствии с научными основами технологии машиностроения. Использовались методы системного анализа; объектно-ориентированного анализа и проектирования; теории принятия решений. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Научная новизна работы состоит в выявлении основных закономерностей автоматизированного формирования маршрутных технологических процессов обработки заготовок, выразившихся в создании методики двух-этапного синтеза указанных процессов. Первый этап синтеза состоит в формировании предварительной структуры маршрутного технологического процесса, подвергаемой уточнению на втором этапе. В качестве средств уточнения при выбранной стратегии синтеза предлагается использовать: выбор схем установки заготовок для обработки и проверку реализуемости этих схем в заданных условиях; определение возможности доступа инструмента к обрабатываемой поверхности в макете формируемой операции.

Практическая ценность. Разработано технологическое обеспечение синтеза структур ТП, включающее в себя методическое и информационное обеспечение синтеза маршрутных технологических процессов, пригодное для разработки и программной реализации модулей систем автоматизированного проектирования. Возможные области применения данных модулей: отработка конструкций на технологичность в реальном времени при конструировании; адаптация технологических процессов к изменению производственной ситуации; работа в составе системы поддержки решений. Возможна разработка автономных обучающих систем на базе указанных модулей.

Реализация результатов работы. Фрагменты макета системы внедрены в учебный процесс кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Апробация работы. Основные разделы диссертации, а также диссертация в целом, докладывались на научных семинарах кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1995–1998 г.г.; фрагменты диссертации доложены и обсуждены на психолого-педагогической практике аспирантов МГТУ, кафедра «Техническая педагогика» Центра переподготовки

и повышения квалификации преподавателей при МГТУ, Москва, 1997 год, протокол №1 от 6 февраля 1997 г.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в пяти печатных работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 116 наименований и 5 приложений. Содержит 184 страницы основного текста, 55 рисунков, 26 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ современного состояния автоматизации ТПП; рассмотрены основные подходы к автоматизации проектирования ТП. Определена актуальность поставленной цели исследования, сформулированы необходимые задачи для ее достижения.

Проектирование технологических процессов связано с принятием решений, определяющих эффективность производства в целом и эксплуатационные свойства изделий. Принятие решений при ТПП осложнено многовариантностью процесса технологического проектирования, являющегося ее важнейшей функцией.

Задача создания полноценных систем автоматизированного проектирования ТП, в частности, изготовления деталей машин, исключительно актуальна для современного машиностроительного производства и в современном состоянии далека от решения. Причинами этого являются:

а) объективные сложности формализованного описания процессов трансформации свойств изделий машиностроения, отсутствие строгих аналитических зависимостей, используемых при проектировании;

б) неразрешенность проблемы синтеза структур технологических объектов и отсутствие достаточно разработанных методических основ такого синтеза.

Традиционно автоматизация проектирования ТП базировалась на идее формализации действий человека-технолога. Большинство работ по автоматизации технологического проектирования основаны на одном из следующих принципов – вариативном или генеративном, нашедших отражение в методах адресации и синтеза.

Вариантные подходы, рассматриваемые в работах Г.К. Горанского, Н.М. Капустина, В.Г. Митрофанова, С.П. Митрофанова, А.Г. Раковича, Ю.М. Соломенцева и других отечественных и зарубежных исследователей, эффективны при развитой типизации производства, наличии развитых библиотек параметризованных ТП. При этом необходима коррекция полученного решения (зачастую значительная) в соответствии с конструктивно-технологическими параметрами детали и производственной ситуацией, приводящая к резкому снижению эффективности решения при недостаточ-

ности баз типовых решений.

Для условий изменяющейся номенклатуры изделий и производственной ситуации предпочтительным является генеративный подход, при котором ТП синтезируется на основе конкретных сведений о конструкторско-технологической модели детали и текущих производственных ресурсах. Известен ряд реализаций генеративного подхода, например, вывод решений из системы исходных посылок (В.Д. Цветков), синтез путем редукции множества возможных решений и т.д. Челищевым Б.Е. предложено формировать проектное решение в результате доказательства технологических теорем, основанного на множестве технологических аксиом. Ограниченность предложенного подхода связана со сложностью построения соответствующих алгоритмов формирования решения, субъективным характером выделенных технологических теорем, а также отсутствием эффективных средств программной реализации соответствующих модулей и систем.

Синтез ТП в результате отбора из множества возможных альтернативных решений исследован в работах Н.М. Капустина, В.Г. Старостина и других. При формировании множества альтернативных решений предлагались: полный перебор множества вариантов; воспроизведение формализованной деятельности технолога, построение структуры ТП на основе информационной обеспеченности различных этапов проектирования; применение технологии искусственного интеллекта; генетические алгоритмы.

Воспроизведение традиционных процедур неавтоматизированного проектирования усложняет эффективную реализацию предложенных подходов. В результате, автоматизированные системы, как правило, разрабатываются для деталей конкретных классов или для конкретных производственных условий с расширенным диалоговым режимом работы, что приводит к субъективизации решений и, как следствие, снижению эффективности. Во всех рассмотренных подходах формируется единственный вариант решения, что также снижает эффективность проектирования.

Полноценная реализация принципа синтеза ТП сдерживается отсутствием необходимого технологического обеспечения. Выполненный анализ убедительно свидетельствует об объективной необходимости разработки САПР ТП, базирующейся на синтезе ТП. Это делает задачу разработки технологического обеспечения систем упомянутого типа и направленные на решение поставленной задачи исследования весьма актуальными.

Целью работы является обеспечение качества проектирования маршрутных технологических процессов, как части задачи обеспечения качества проектных решений при технологической подготовке производства.

Объектом исследования является процесс формирования проектного технологического решения в ТПП на примере автоматизированного проектирования маршрутного ТП для производств единичного и серийного типов, ориентированно к классу деталей.

Достижение поставленной цели связано с решением следующих основных задач исследования:

1. Выявление основных технологических закономерностей и правил формирования структур процессов изготовления деталей изделий машиностроения.

2. Разработка методического и информационного обеспечения синтеза структур процессов изготовления деталей изделий машиностроения.

3. Практическая апробация методического обеспечения синтеза структур процессов изготовления деталей изделий машиностроения (на примере маршрутных технологических процессов).

Во второй главе предлагается способ формирования структур процессов изготовления деталей. Проектирование маршрутного ТП изготовления детали машиностроения представляет собой, с одной стороны процесс реализации сложной технической системы, преобразующей конструктивно-технологические параметры исходных заготовок в конструктивно-технологические параметры готовых деталей, с другой стороны, сам маршрутный ТП может рассматриваться как объект проектного технологического решения, целью которого является промежуточное или конечное описание в заданной форме объекта проектирования или его части, необходимое и достаточное для определения дальнейшего направления или окончания проектирования (ГОСТ 34.003-90). Проектное технологическое решение может быть формально представлено как разновидность сложной технической системы (по В.Д. Цветкову):

$$TR = \langle H, F, S, Z \rangle,$$

где H – множество характеристик системы технологических объектов, определяющих их взаимодействие с внешней (для объекта решения) средой; F – множество функций, выполняющихся системой описываемых технологических объектов (объектом решения); S – структура системы объектов, описываемых данным решением; Z – множество параметров объекта решения.

Для маршрутного ТП определены характеристики представления:

H : данные об основном материале, исходной заготовке, вспомогательных и комплектующих материалах; коды материалов; коды единиц величин; нормы расхода; номера цеха, участка, рабочего места; код и наименование оборудования; информация об оснастке; код профессии, разряд, число исполнителей; код условий труда; количество одновременно обрабатываемых деталей. F : технологическое содержание операций; S : номер, код, наименование операции в технологической последовательности; Z : данные о трудозатрагах: норма штучного времени, норма подготовительно-заключительного времени.

Ход формирования проектного решения будет состоять в определении характеристик и функций желаемого решения $TR^0 = \langle H^0, F^0, S^0, Z^0 \rangle$ путем синтеза структуры S^0 последнего на основе характеристик и функций желаемого решения $TR^1 = \langle H^1, F^1, S^1, Z^1 \rangle$. Множества характеристик H^1, F^1, Z^1 (и их

значений) для идеального решения в большинстве случаев известны и указываются в задании на проектирование маршрутного ТП. Идеальная структура S^I чаще всего неизвестна. Структура принятого проектного решения должна обеспечивать выполнение условия полноты решения:

$$H^I \in H^O; F^I \in F^O; Z^I \in Z^O.$$

В связи с тем, что формирование сквозной структуры ТП является нетривиальной процедурой, для алгоритмического выполнения которой в настоящее время имеющееся множество формальных правил является недостаточным, то наиболее часто в практике машиностроения с целью формирования структуры ТП применяют процедуры выбора проектных технологических решений. Выбор связан с определением функциональной структуры объекта решения, минимально достаточной для реализации множества функций F^I . Для задач проектирования маршрутного ТП функциональную структуру нередко задает ТП изготовления детали-представителя соответствующего класса.

Процедуры выбора формализованы и сравнительно просто реализуются в автоматизированном режиме. Вместе с тем, известные недостатки (см. гл. 1) не позволяют видеть в них единственный и наиболее простой способ формирования структур маршрутного ТП.

Выбор первичных и изменяемых в дальнейшем структур маршрутного ТП изготовления деталей может осуществляться на основе отношений, возникающих между технологическими решениями, относящимися к объектам одного и того же функционального класса, в том числе и маршрутными ТП.

Для объектов решений и одного и того же функционального класса могут быть определены отношения:

$$1. \text{Тождества: } TR_1^O \equiv TR_2^O, \text{ при } H_1^O \equiv H_2^O; F_1^O \equiv F_2^O; S_1^O \equiv S_2^O; Z_1^O \equiv Z_2^O.$$

У тождественных ТП тождественны входящие в них операции и порядок их следования.

$$2. \text{Эквивалентности: } TR_1^O \equiv TR_2^O \text{ при } H_1^O \equiv H_2^O; F_1^O \equiv F_2^O, \text{ но } S_1^O \neq S_2^O; Z_1^O \neq Z_2^O.$$

$$3. \text{Подобия: } TR_1^O \sim TR_2^O \text{ при } H_1^O \sim H_2^O; F_1^O \sim F_2^O.$$

Численные значения степеней подобия объектов технологических решений могут быть определены при сравнении их как по метрическим, так и по символьным атрибутам. Для маршрутного ТП могут быть получены оценки содержательного подобия ($S_{\text{сост}}$) и структурного подобия ($S_{\text{стр}}$). Оценки содержательного подобия учитывают только элементный состав маршрутного ТП, но не учитывают место и связи элемента в ТП, как в соответствующей системе. Для сравнения вариантов маршрутных ТП «1» и «2», содержащих M и N операций соответственно, оценка подобия состава определяется по следующей формуле:

$$S_{\text{сост}}^{12} = \frac{2 \cdot m}{M + N},$$

где m – число пар тождественных операций в сравниваемых ТП. Для двух сравниваемых маршрутных ТП $S_{\text{сост}} \rightarrow 1$, чем больше в них тождественных элементов. Оценки структурного подобия $S_{\text{стр}}$ учитывают не только близость состава сравниваемых объектов, но и положение и связи их элементов. Данная оценка является более полной, чем $S_{\text{сост}}$, но в отличие от последней определяется значительно сложнее. Оценка $S_{\text{сост}}$ может быть использована при формировании множества альтернативных маршрутных ТП.

Множество маршрутных ТП, полученное путем прямого выбора или с применением оценок подобия, может рассматриваться как множество первичных решений. Окончательное решение о структуре и составе маршрутного ТП получается в результате структурно-параметрической модификации первичного решения. Данная процедура предусматривает направленное изменение структуры, параметров и структурно-параметрических характеристик первичного решения с целью обеспечить выполнение множества заданных функций системы F^1 . Возможны следующие методы структурно-параметрической модификации: подобия элементов; синтеза элементов; синтеза фрагментов структуры; синтеза макета функциональной структуры.

В качестве функций, входящих в функциональную структуру $S_{\text{ф}}$, может рассматриваться множество элементарных маршрутов обработки основных поверхностей детали. Здесь мы исходим из того положения, что если каждой поверхности детали поставлен во взаимно однозначное соответствие элементарный маршрут ее изготовления, то структура $S_{\text{ф}}$ должна обеспечить выполнение необходимого множества функций, составляющих содержание элементарных переходов указанных маршрутов.

Для успешного решения задачи синтеза функциональной структуры ТП предложено разработать методическое обеспечение, использующее известный технологический опыт, в той его части, которая инвариантна условиям производства. Автором в результате анализа значительного числа литературных и производственных источников была разработана система технологических эвристик, пригодная для использования, как при неавтоматизированном проектировании ТП, так и в качестве методической основы автоматизированного проектирования. Данные правила не противоречат основным закономерностям технологического проектирования, могут быть расширены применительно к конкретным производственным условиям.

В третьей главе представлена разработанная методика автоматизированного синтеза маршрутных технологических процессов.

Для представления объекта производства предложен оригинальный подход к формированию его конструкторско-технологической модели. Данная модель представляет собой совокупность объектов, называемых Т-комплексами. Последние являются объединением поверхностей различных типов на основе общности технологии формообразования. Каждому Т-комплексу может быть поставлено в соответствие конечное множество

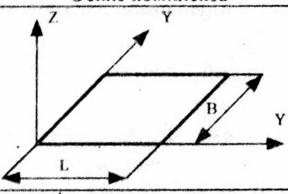
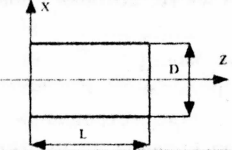
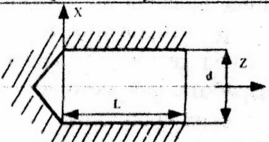
технологических методов, посредством которых он может быть реализован.

Вследствие этого, в качестве информационной основы синтеза предложено использовать множество элементарных маршрутов обработки Т-комплекса (ЭМОК), соответствующее текущей производственной ситуации. Некоторые Т-комплексы и соответствующие им ЭМОК приведены в табл. 1.

Для снижения числа возможных вариантов маршрутного ТП выполняется селекция ЭМОК по критериям минимальных затрат на реализацию и однородности средств технологического оснащения. Последние определяются укрупненно, по группе оборудования и списку возможных схем установки. В силу высокой неопределенности на данном этапе проектирования предусмотрена возможность сохранения нескольких близких вариантов. Для этого введен диапазон затрат, определяемый по формуле: $Z_d = (1 + \alpha) \cdot Z_{\min}$, где коэффициент α позволяет определить ширину диапазона Z_d по минимальным затратам $Z_{\min}$. Затраты предложено определять по коэффициенту машино-часа оборудования: $Z = t_0 \cdot K_{мч}$, где t_0 – основное время выполнения технологического перехода, определяемое по средним экономическим режимам.

Таблица 1

Фрагмент каталога Т-комплексов.

ID	Эскиз комплекса	Технологические методы
P11		1. Фрезерование цилиндрическое 2. Шлифование 3. Накатывание 4. Виброполирование
CE		1. Обтачивание 2. Притирка 3. Шлифование абразивной лентой
CIP11		1. Сверление 2. Зенкерование 3. Развертывание 4. Раскатывание 5. Хонингование

Выбор оборудования осуществляется сразу после формирования множества ЭМОК, для повышения эффективности которого в работе предложен критериальный аппарат, позволяющий количественно оценить соответствие характеристик оборудования требуемым условиям обработки, учитывая технологические характеристики последнего (например, такие, как обеспечи-

ваемое качество, реализуемые технологические методы). Для оценки технологических возможностей оборудования $O_{ТВ}$ предложена формула:

$$O_{ТВ} = O_{ПРП} \cdot O_{ТМ} \cdot O_{ТОП} \cdot O_{УР} \cdot O_{ДК},$$

где $O_{ПРП}$ – оценка параметров рабочего пространства; $O_{ТМ}$ – оценка соответствия (использования) технологических методов; $O_{ТОП}$ – оценка использования возможностей обработки поверхностей различных типов; $O_{УР}$ – оценка соответствия условий реализации технологических методов; $O_{ДК}$ – оценка соответствия технологических возможностей по достижимому качеству.

Предложена концепция двухэтапного синтеза маршрутных ТП (см. рис. 1). Первый этап синтеза маршрутного ТП состоит в определении формальной структуры ТП. Она формируется из макетов технологических операций (МТО), представляющих собой информационные объекты структуры МТО ::= <НОМЕР МАКЕТА, ГРУППА-ТИП ОБОРУДОВАНИЯ, {СХЕМА УСТАНОВКИ}, {<ПОВЕРХНОСТЬ ЗАГОТОВКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД>}>.

Основой для синтеза маршрутного ТП является кортеж <ГРУППА-ТИП ОБОРУДОВАНИЯ, {СПИСОК ВОЗМОЖНЫХ СХЕМ УСТАНОВКИ}>. Множество этих кортежей определяет состав применяемого в ТП оборудования.

Технологические методы могут быть условно отнесены к различным этапам ТП, границы которых определены параметрами качества, доминирующими для большинства машиностроительных деталей. Таким параметром является качество основных размеров. Возможно следующее деление ТП на этапы по данному параметру:

заготовительный: $1T \geq 14$; черновой: $12 \geq 1T \leq 14$; получистовой: $9 \geq 1T \leq 12$; чистовой: $7 \geq 1T \leq 9$; отделочный: $1T < 7$.

В МТО J^* могут быть включены такие технологические методы M_i , выполнение которых завершается на этапе ТП; при условии совпадения группы и типа оборудования и множеств СУ:

$$M_i \subseteq J^* : Q_{M_i} \subseteq [Q^{н.}, Q^{м.}], G(J) \in \{G\}_{M_i}, \{CY\}_{M_i} \subseteq \{CY\}_J,$$

где Q_{M_i} – диапазон параметров качества метода, $Q^{н.}, Q^{м.}$ – границы параметров качества этапа, $G(J)$ – группа и тип оборудования МТО, $\{G\}_{M_i}$ – список групп оборудования, реализующего метод, $\{CY\}_{M_i}$ – список возможных схем установки для выполнения метода, $\{CY\}_J$ – список возможных схем установки для МТО. Данный этап выполняется в направлении «от готовой детали – к исходной заготовке», что связано с тем, что фактически проектирование ТП механообработки состоит в проектировании завершающих операций и выборе способов обеспечения необходимых параметров качества на промежуточных.

Полученное множество МТО еще не является маршрутным ТП и нуждается в уточнении структуры и состава операций. Средством для проведения данной процедуры является, в первую очередь, выбор схем установки.

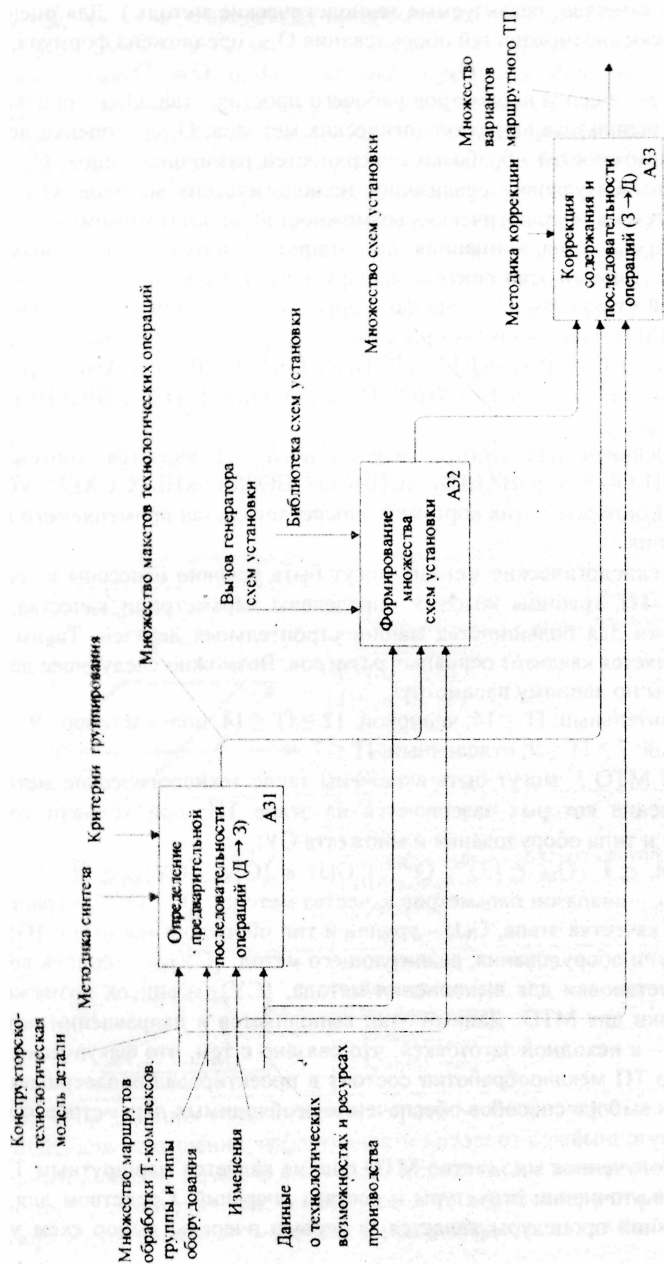


Рис. 1. Схема синтеза маршрутных ТП.

для МТО и определение возможности реализации данной схемы.

Второй этап синтеза выполняется «от исходной заготовки – к готовой детали», что связано с необходимостью определить, в первую очередь, черновые базы. Для описания схем установки используется предикатная форма:

УСТАНОВКА ($b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$),

где $b_1, \dots, b_6$ – номера соответствующих поверхностей заготовки, идентифицируемых в соответствии с параметрами геометрического описания, b_1, b_2, b_3 – номера поверхностей, являющихся только установочными базами, b_4, b_5, b_6 – номера поверхностей, являющихся как установочными базами, так и зажимными поверхностями. Для выполнения автоматизированного выбора схем установки предложен генератор, построенный на следующих основных принципах:

в качестве установочных баз используются только реальные поверхности, следующих типов – плоскость, наружная цилиндрическая поверхность, внутренняя цилиндрическая поверхность, внутренняя коническая поверхность; данные поверхности должны отсекают в пространстве максимальный объем или являться функционально-базовыми (центровые отверстия); в схеме установки может быть задействовано не более 4-х поверхностей различных типов.

Разработаны правила реализации допустимых схем установки, фрагмент приведен в табл. 2.

Вторым средством уточнения МТО является оценка возможности обработки заданных Т-комплексов. Для выполнения данной оценки предложено использовать анализ возможности доступа инструмента к Т-комплексам в заданных условиях.

Предложен подход, основанный на анализе кинематических схем формообразования на оборудовании различных типов. Для того чтобы выбранная схема установки обеспечивала принципиальную возможность обработки (формообразования) выбранных Т-комплексов необходимо, чтобы положение установленной заготовки в системе координат оборудования обеспечивало коллинеарность главных векторов формообразования данных Т-комплексов хотя бы части направлений возможных векторов формообразования оборудования. Под вектором формообразования здесь понимается вектор, направленный вдоль движения, реализующего формообразования (то есть движения подачи). Данное условие является необходимым, но недостаточным для гарантированного формообразования Т-комплекса. Предлагается рассматривать фиксированную область пространства, называемую “область гарантированного формообразования” (ОГФ) (см. рис. 2):

Фрагмент таблицы условий реализации СУ

Примечание: Пл – плоскость; Н – наружная цилиндрическая поверхность; В – внутренняя цилиндрическая поверхность; NZ – поверхность закрепления.

Для формального описания ОГФ применяется описание кинематики формообразования, основанное на анализе взаимного перемещения узлов оборудования, детали и инструмента в заданной системе координат.

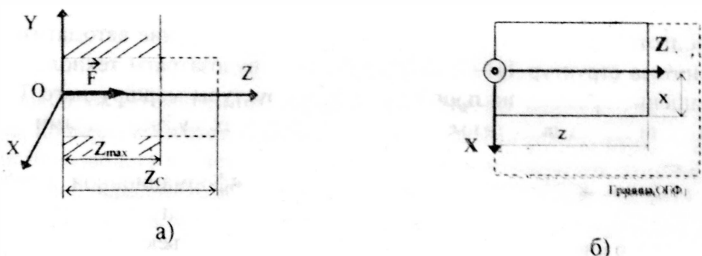


Рис 2 Примеры области гарантированного формообразования для различных Т-комплексов а) для Т-комплекса С1, б) для Т-комплекса СЕ (обработка на оборудовании токарной группы)

Четвертая глава посвящена описанию программно реализованного макета автоматизированной системы синтеза (АСС) маршрутных ТП изготовления деталей, изложению результатов исследования основных элементов разработанной методики синтеза, анализу эффективности применения систем синтеза в сравнении с диалоговыми САПР ТП.

Определен набор модулей макета АСС, выполняющих логически завершенные процедуры, порядок работы модулей определяется информационной обеспеченностью этапов синтеза. При создании макета АСС использован объектно-ориентированный подход. Для отображения понятий предметной области системы разработано множество необходимых информационных объектов, для описания которых предложена библиотека языка программирования C++.

Выполнена оценка корректности синтеза маршрутных ТП с использованием критерия «степень подобия» на двух уровнях ТП – состава процесса и содержания операций. На первом уровне используется подобие групп и типов оборудования и схем установки, на втором – подобие технологических методов и обрабатываемых поверхностей. Для выполнения оценки выделены детали следующих типов: фланец, рычаг, планка, вал, в каждую группу включены 4 – 5 деталей. Можно сделать вывод, что синтез маршрутных ТП выполняется достаточно корректно, так как степень подобия большей части сравниваемых пар превышает 0,5.

При оценке эффективности применения АСС в качестве объектов сравнения были выбраны автономная диалоговая САПР ТП «Карус» и интегрированная среда «АДЕМ», оснащенная модулем технологического проектирования. Сравнение осуществлялось по различным этапам проектирования (рис. 3) с целью выявления наиболее эффективной области применения автоматизированных систем синтеза ТП. Мы можем указать на этапы разработки структуры ТП и формирования представления исходных данных в электронном виде, как наиболее трудоемкие этапы при разработке новых маршрутных ТП за счет выполнения расчетов норм времени, режимов реза-

ния или подготовки данных для таких расчетов. Применение автоматизированного синтеза структур ТП позволяет снизить трудозатраты технолога, за счет сокращения времени на проектирование структуры маршрутного ТП и снижения количества возможных ошибок, вызванных субъективными причинами

Для оценки корректности формирования информационной основы синтеза выполнен анализ устойчивости разработанного алгоритма селекции ЭМОК. В связи с символьной природой формируемых объектов предложено оценивать устойчивость по числу вариантов ЭМОК до и после селекции. Установлено, что даже при сокращении числа исходных вариантов алгоритм остается работоспособным, так как множество вариантов не становится пустым. Подтверждена целесообразность использования при селекции диапазонной оценки затрат, так как при уменьшении мощность множества вариантов ЭМОК сохраняется их достаточная альтернативность (рис. 4). Изменение диапазона возможно, например, при наличии оборудования альтернативных типов.



Рис. 3. Распределение трудозатрат по этапам проектирования:

I – Формирование модели детали / подготовка чертежа; II – Синтез маршрутного ТП / проектирование маршрутного ТП; III – Анализ вариантов, коррекция / подготовка данных для расчета штучного времени; IV – Вывод маршрутных карт.



Рис. 4. Изменение числа вариантов ЭМОК в зависимости от величины диапазона затрат

ОСНОВНЫЕ ВЫВООДЫ

1. Разработка автоматизированных систем синтеза маршрутных технологических процессов изготовления деталей для условий единичного и серийного типов производств является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное народно-хозяйственное значение, полноценность ее решения определяется качеством соответствующего методического и информационного обеспечения.
2. Формирование проектных решений высокого качества возможно в автоматизированных системах, разработанных на базе предложенной концепции синтеза, отличительными особенностями которой являются:
 - оригинальный подход к конструкторско-технологическому моделированию объекта производства;
 - применение двухэтапной логически связанной процедуры синтеза, состоящей из макетирования маршрутного технологического процесса и последующего уточнения его структуры и состава операций.
3. Целям автоматизированного синтеза в полной мере соответствует представление модели объекта производства, как упорядоченной совокупности комплексов поверхностей, связанных общностью формообразования и технологическими атрибутами. Предложенный подход позволяет автоматизированное формирование баз данных геометрического представления объекта производства и его уровневое представление.
4. Информационной основой синтеза маршрутного технологического процесса являются элементарные маршруты обработки технологических комплексов поверхностей, для автоматической генерации и селекции которых разработано эффективное методическое обеспечение.
5. Макетирование маршрутного технологического процесса выполняется в направлении от готовой детали к заготовке, уточнение структуры и состава операций – от заготовки к готовой детали. Основанием для уточнения является выбор и проверка реализации схем установки.
6. Дополнительное уточнение макета может быть выполнено по результатам анализа возможности обработки поверхностей в заданных условиях (доступность комплексов поверхностей для обработки), методическое обеспечение которого предложено в работе.
7. Программно реализован макет автоматизированной системы синтеза маршрутных технологических процессов изготовления деталей. Результаты работы применимы при создании рабочих версий систем автоматизированного синтеза; реализации отдельных модулей системы, например, как средств обеспечения учебного процесса.
8. Применение синтеза маршрутных технологических процессов для формирования множества вариантов проектного решения, как в самостоятель-

ных автоматизированных системах технологического проектирования, так и в соответствующих подсистемах интегрированных систем, построенных на указанном принципе, позволяет сократить время разработки новых технологических процессов и адаптации существующих к изменению производственной ситуации на 10% – 15% за счет одновременного формирования нескольких вариантов процесса.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

Кондаков А.И., Островский Ю.А. Выбор схем установки заготовки и станочных приспособлений в генеративных САПР ТП // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1997. – № 4 – 6. – С. 97 – 104.

Островский Ю.А. Обработка поверхностей заготовок в генеративных САПР ТП // Компьютерная хроника. – 1998. – № 1. – С. 81–86.

Островский Ю.А., Глушенко А.В., Склянов Д.В. Критериальный аппарат выбора при принятии технологических решений // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1998. – № 4 – 6. – С. 86–92.

Островский Ю.А., Склянов Д.В. Автоматизация синтеза структур при проектировании маршрутных технологических процессов // Компьютеры в учебном процессе. – 1998. – № 7. – С. 21–26.

Островский Ю.А. Генеративные системы синтеза маршрутных технологических процессов обработки заготовок // Машиностроитель. – 1999. – № 4. – С. 33–36.