

М442.512
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

На правах рукописи

Чесноков Виктор Владимирович

УДК 658.512.011.56

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В СИСТЕМЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

05.13.12 - Системы автоматизации проектирования

05.02.08 - Технология машиностроения

А в т с р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана и научно-исследовательском институте технологии криогенного машиностроения

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Капустин Н.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Митрофанов В.Г.
кандидат технических наук
Губанов В.В.

Ведущее предприятие - Производственное объединение
"Маш"

"20" марта 1986 г.
Совета Д 053.15.03 в
ище имени Н.Э.Баумана по
ская, 5.
ишься в библиотеке МВТУ

двух экземплярах, заверен-
ному адресу.

авраия 1986 г.

С.Р.Иванов

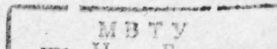
Актуальность. В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 г.г. и на период до 2000 года предусматривается расширение автоматизации проектно-конструкторских работ с применением электронно-вычислительной техники. Особое внимание уделяется автоматизации технологической подготовки производства на базе создания систем автоматизированного проектирования (САПР). В связи с этим возрастающее внимание уделяется вопросам развития методологии проектирования и оптимизации проектных решений, недостаточное развитие которых сдерживают внедрение САПР в производство.

Анализ методов и накопленного опыта проектирования показал, что большинство исследований посвящено проблемам параметрической оптимизации технологических процессов. Проектирование структур процессов изготовления деталей предлагается проводить в режиме диалога, что увеличивает затраты на проектирование в связи с использованием дорогостоящей техники и необходимости разработки специального математического и программного обеспечения диалога. Попытки решения задачи в пакетном режиме носят узкоспециализированный характер и ориентированы на использование типовых решений.

Структурный аспект технологического проектирования является основным резервом повышения производительности труда в единичном и мелкосерийном производстве. С точки зрения автоматизации проектирования это особенно сложная проблема, так как решаемые здесь задачи менее всего поддаются формальной логике. Недостаточное использование структурного анализа и структурного синтеза для проектирования оптимальных технологических процессов снижают эффективность САПР.

Цель работы. Повышение эффективности САПР на основе формализации процесса синтеза структур технологических процессов механической обработки за счет роста степени автоматизации проектных работ и повышения качества проектной документации путем более детального проектирования и оптимизации процесса принятия проектных решений.

Методы исследования. Результаты диссертационной работы



получены на основе комплексного использования теории многоуровневых иерархических систем, теории исследования операций, методов системного анализа и синтеза, теории множеств и графов, теории принятия решений. Исследование эффективности разработанных алгоритмов осуществлялось с помощью вычислительных экспериментов.

Научная новизна. Выявлены закономерности, характеризующие влияние конструктивно-технологических особенностей деталей на структуры технологических процессов, на основе которых разработаны информационные модели структуры детали и технологического процесса. Разработана методика поиска и оптимизации проектных решений на основе сочетания формальных методов анализа множеств проектных решений с эвристическими правилами, позволяющими произвести замену полного перебора на направленный поиск. Разработан новый метод структурного синтеза, позволяющий проектировать структуры как единичных, так и унифицированных технологических процессов механической обработки деталей.

Практическая ценность. Полученные в работе теоретические и экспериментальные результаты использованы при разработке комплекса программ проектирования технологических процессов механической обработки деталей. Применение разработанного метода структурного синтеза позволило автоматизировать этап построения структур операций и маршрутов обработки, повысить уровень автоматизации проектных работ.

Применение методики поиска и структурной оптимизации проектных решений обеспечивает повышение качественных показателей технологических процессов: увеличение штучной производительности обработки на 8-10%, увеличение доли машинного времени в штучном на 15-35% при обеспечении заданных уровней точности и себестоимости изготовления деталей.

Разработаны алгоритмы и программы инвариантные по отношению к деталям, позволяющие проектировать рабочие и перспективные технологические процессы, повысить качество проектной документации за счет более детального проектирования, снизить трудоемкость и стоимость проектирования.

Реализация и внедрение. Результаты диссертационной работы

использованы при разработке, развитии и усовершенствовании системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР-Т), внедренной в научно-производственном объединении "Кислородмаш" (г. Одесса) и ряде предприятий отрасли химического и нефтяного машиностроения. Программный комплекс, реализующий предложенный подход, входит в состав пакета прикладных программ (ППП "ТЕХНОЛОГИЯ"), переданный в Центр программистов.

Использование методик и рекомендаций позволило снизить трудоемкость проектирования структур технологических процессов в 1,5 раза по сравнению с базовым вариантом системы.

Экономический эффект от внедрения составил 84022 рублей в год, что подтверждается актом о внедрении.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технической конференции "Эффективность процессов механической обработки и качество поверхности деталей машин и приборов" (г. Киев, 1977), семинаре "Системы автоматизированного проектирования в машино- и приборостроении" (г. Николаев), научно-технических конференциях "Молодые специалисты и молодые ученые производству" (г. Одесса, 1977-1981), научно-технической конференции "Разработка и внедрение систем автоматизированного проектирования" (г. Ижевск, 1981), отраслевом совещании "Повышение эффективности машиностроительного производства на базе комплексной автоматизации технологической подготовки производства и внедрение гибких автоматизированных комплексов" (г. Днепропетровск, 1984), научных семинарах кафедры автоматизации проектирования и технологии механосборочного производства МВТУ им. Н.Э. Баумана (1981-1985), научно-техническом семинаре "САПР технологических процессов в машино- и приборостроении" (г. Одесса, 1985).

Публикации. Основные положения диссертационной работы отражены в четырех печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 129 страницах машинописного текста, иллюстрируется рисунками и таблицами на 29 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 105 наименований и приложений на 42 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, дается краткий анализ работ в области автоматизации технологического проектирования. Показана логическая связь изложения материала диссертационной работы и выявлены основные результаты каждой главы.

В первой главе проведен анализ основных направлений автоматизации проектирования технологических процессов, методические положения которых разработаны в трудах советских ученых Бруевича Н.Г., Гильмана А.М., Горанского Г.К., Капустина Н.М., Кютнера Р.А., Митрофанова В.Г., Митрофанова С.П., Павлова В.В., Соломенцева Ю.М., Тетерина Г.П., Цветкова В.Д., Челищева Б.Е. и других. Выявлены достоинства и недостатки направлений и методов исследования, присущих данным научным школам. Отмечено, что имеющийся научный и практический задел не обеспечил еще создание единых методологических принципов, позволяющих создать простую, надежную и универсальную САПР.

При технологическом проектировании решаются задачи синтеза (структурного и параметрического) и анализа. Структурный синтез позволяет создавать варианты структур технологических процессов, а с помощью параметрического синтеза выявляются оптимальные параметры выбранной структуры.

При проектировании технологических процессов механической обработки деталей распространены две группы методов:

- методы, основанные на классификации и применении типовых или групповых технологических процессов;
- методы синтеза структур технологических процессов из элементарных процессов обработки отдельных поверхностей детали.

Возможность применения методов первой группы определяется наличием типовых процессов на предприятии, что приводит к проектированию технологических процессов на отдельные типы и классы деталей, например, валы, фланцы, стаканы, кольца и т.п. Для мелкосерийного производства такой подход сложен из-за наличия большого количества разнотипных деталей оригинальных форм, что усложняет разработку подробных типовых процессов, а поиск аналогов не всегда может быть завершен успешно. САПР

при этом обладает недостаточной гибкостью, обусловленной жесткой привязкой типовых процессов к конкретному предприятию.

Методы второй группы позволяют проектировать структуры операций на основе типовых процессов обработки элементарных обрабатываемых поверхностей. Основная сложность данного подхода заключается в выявлении возможных сочетаний переходов для поверхностей детали обрабатываемых совместно.

Возможным является третий подход к проектированию структур, основанный на выявлении элементов технологического процесса, поиске данных элементов в процессе принятия решений и разработке алгоритмов синтеза сложных решений, что обеспечивает гибкость САПР, возможность инвариантного применения и развития. Однако из-за сложности формализации процесса синтеза сложных структур из элементов, данный подход реализован лишь на уровне переходов или операций, объединяющих методы обработки на одном типе оборудования, например, токарном или сверлильном.

Решение задачи структурного синтеза в диалоговом режиме приводит к повышению стоимости проектирования, так как для реализации метода необходимы сложные и дорогостоящие внешние устройства. Кроме того необходимо сложное математическое обеспечение и высокие профессиональные знания проектировщиков, что значительно ограничивает круг пользователей диалоговых систем.

На основе проведенного анализа и в соответствии с целью работы определены следующие задачи исследования:

1. Исследовать процесс технологического проектирования и разработать модель представления структуры технологического процесса в автоматизированной информационной системе.

2. Установить влияние структуры объекта производства на структуру технологического процесса, выявить элементы структур и разработать метод многоуровневого синтеза сложных структур технологических процессов, используя при этом структуру объекта производства в качестве исходного состояния синтезируемой структуры.

3. Разработать основные этапы проектирования структур технологических процессов, их последовательность и определить рациональный уровень разделения функций между проектировщиком и ЭВМ.

4. Разработать алгоритмы и внедрить полученные результаты в производство с определением технико-экономической эффективности.

Во второй главе проведен анализ процесса технологического проектирования с целью создания информационной модели желаемой производственной структуры технологического процесса, исследования возможных последствий изменения производственной ситуации на информационной модели и принятия соответствующих решений, представленных в виде совокупности проектных документов. Формирование структуры технологического процесса осуществляется путем преобразования описания информации об объектах производства (деталях) в описание технологического процесса изготовления этого изделия, которое можно представить как

$$S_d : A \rightarrow S_{гп}$$

где S_d - информационная модель структуры детали; A - алгоритм преобразования (проектирования); $S_{гп}$ - информационная модель структуры технологического процесса.

Объектом исследования являются: процесс определения информационной модели структуры детали, состав и связи ее структурных элементов; структурные элементы информационной модели технологического процесса, а также процесс преобразования одних элементов в другие в ходе структурного синтеза.

Предложена структура технологического процесса в виде графа, вершинами которого являются структурные элементы, а дуги - связи и взаимодействия между данными элементами. В качестве структурных элементов технологического процесса предложены информационные единицы проектных решений, которые представляют собой функционально обособленные, самостоятельные части сложного проектного решения. Рассмотрены три уровня сложности объединения структурных элементов. На уровне маршрута обработки в качестве элементов выступают операции, их возможный состав и последовательность выполнения. На уровне операции элементами являются технологические переходы, определяющие количественный и качественный состав операции. На уровне переходов структура содержит наборы переходов и проходов по каждой поверхности детали, определяющие методы обработки.

Структура технологического процесса представляет собой упорядоченный кортеж структурных элементов данных уровней.

Поскольку в основу подхода к проектированию структуры технологического процесса положена зависимость в первую очередь от структуры детали, а во-вторую - от наличия средств производства и производственной ситуации, предложен способ построения информационной модели структуры детали, в основе которого лежит поэлементный метод, заключающийся в разбиении детали на ряд первичных элементов - элементарные обрабатываемые поверхности. Тогда деталь можно представить в виде совокупности данных поверхностей $\Delta = \{P\}$. Предлагаемыми уровнями структуры детали являются: комплекты, комплексы, совокупности, комбинации и поверхности. С технологической точки зрения данные уровни определяют потенциальные возможности объединения поверхностей для их совместной обработки. Многоуровневое представление детали определяет конструктивно-технологическую структуру детали.

На основе анализа методов моделирования производственных процессов, для решения задачи структурного синтеза предложен метод преобразования структуры, путем организации многошаговой процедуры улучшения первоначально сформированной структуры. Суть его заключается в построении некоторой начальной структуры, поиске элементов проектных решений (отображение на множества решений) и синтезе из них сложных решений, вплоть до образования законченной целевой структуры.

Процесс формирования структуры технологического процесса осуществляется в несколько этапов: 1. Анализ структуры детали и синтез предполагаемой структуры технологического процесса. 2. Отображение полученной предполагаемой структуры на множество единиц проектных решений, организация поиска и выбора. 3. Структурный синтез сложных решений, поэтапная корректировка предварительно намеченной структуры на основе упорядочения множеств найденных решений.

Конструктивно-технологическая структура детали преобразуется в исходную предполагаемую структуру технологического процесса путем добавления дополнительных технологических поверхностей и определения предполагаемых промежуточных состояний каждой поверхности.

Введение дополнительных технологических поверхностей необходимо по двум причинам: во-первых, данные поверхности не

предусматриваются конструктором при создании конструкции детали, а при изготовлении без них нельзя обойтись; во-вторых, отсутствием их в описании детали.

Выделение для каждой поверхности предполагаемых промежуточных состояний поверхности диктуется условием необходимости достижения требуемой точности и шероховатости поверхности детали и невозможностью их достижения одним методом обработки. После введения промежуточных состояний поверхность детализируется и имеет вид $P_i = \{q_{iz}, \dots, q_{iz}, \dots, q_{is}\}$ где q_{iz} - код понятия, описывающего характеристики промежуточного состояния; z - уровень (номер) промежуточного состояния; S - число предполагаемых уровней.

Отличительной чертой предлагаемого подхода является то, что объектом анализа для проектирования служат не отдельные поверхности, а наборы поверхностей - комплекты. В комплект могут входить поверхности с одной схемой базирования и одним движением детали в процессе формообразования поверхностей. Использование комплектов позволяет сократить число возможных сочетаний методов обработки отдельных поверхностей.

Процесс поиска единиц проектных решений организован следующим образом. Для каждого набора поверхностей определяется набор условий, которым должно удовлетворять решение данного элемента множества. Этот набор условий представляет собой поисковое предписание. Элементы решений описываются аналогичным набором условий, имеющие диапазон параметров, описывающие технологические и структурообразующие возможности элементов решений.

Условием выбора элементов или единиц решений является вхождение значений признаков поискового предписания в пределы соответствующих признаков решений.

Решения γ_i , выбранные в процессе отображения элементов исходной структуры S_0 , определяют ограничения γ_i , под воздействием которых начальная структура преобразуется в промежуточную структуру первого этапа проектирования

$$S_0 = \{\gamma_i; \gamma_i\} \rightarrow S_1$$

Ограничения, полученные на первом этапе, включаются как составляющие в поисковое предписание для следующего этапа.

Этой процедурой обеспечивается направленный поиск за счет нарастания числа ограничений, что позволяет на каждом последующем этапе выбора рассматривать ограниченное множество решений.

В качестве критерия оптимальности для выбора решений принята производительность обработки $K(S) = Q_{\max}$ при соблюдении ограничений заданных уровней точности и себестоимости изготовления.

Синтез промежуточной структуры заключается в определении места каждого элемента решений. Этот процесс затрагивает изменение расположения элементов относительно предварительно намеченного расположения, что соответствует их упорядочению во времени и пространстве. Для реализации процесса упорядочения разработаны эвристические правила, например, исключить элемент из последовательности, поменять элементы местами, изменить порядок следования элементов. С точки зрения теории графов структурные преобразования соответствуют операциям растяжения и стягивания предполагаемой промежуточной структуры, что с технологической точки зрения означает поиск оптимальной величины концентрации и совмещения.

В качестве критериев структурных преобразований приняты: минимизация числа переходов по каждой поверхности набора при анализе необходимого и достаточного числа предполагаемых промежуточных состояний поверхностей; обеспечение минимально возможного числа переходов по всем наборам при условии достижения оптимального уровня концентрации и совмещения технологических действий; минимум числа операций маршрута обработки. На каждом этапе проектирования обеспечение общего критерия оптимальности достигается учетом ряда частных критериев, что позволяет точнее производить выбор решений и сократить число рассматриваемых вариантов.

На каждом этапе проектирования выполняются следующие действия: выбирается или рассчитывается подмножество единиц решений; выделяются характеристики решений, влияющие на порядок элементов в структуре; корректируется структура с учетом выделенных характеристик.

Для реализации предложенного подхода к проектированию структур технологических процессов разработана структурная

схема этапов проектирования на основе принципа блочно-модульного построения системы автоматизированного проектирования, выделены подзадачи каждого этапа и указаны взаимосвязи с подзадачами структурного синтеза.

Результаты решения задачи структурного синтеза передаются на параметрический синтез, в процессе которого обеспечивается выбор условий реализации найденного варианта структуры технологического процесса (расчет режимов резания, материальное и трудовое нормирование). Оптимизация на данном уровне обеспечивает экстремальное значение оценочной функции $K=K(\rho)$. Решение данной задачи в работе не рассматривается.

В третьей главе рассмотрены алгоритмы и решение подзадач структурного синтеза в системе автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей.

Описание исходной информации о детали представлено с помощью языка кодирования, ориентированного на выделение конструктивно-технологических признаков поверхностей детали. Основным объектом кодирования является поверхность детали. В языке кодирования установлена не зависящая от конкретной детали номенклатура количественных и качественных признаков, которые заносятся в единый входной документ.

Поверхность на языке кодирования представлена в виде

$$P_j = \{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}$$

где P_j - код понятия, описывающего характеристику поверхности;

j - номер поверхности; x_{1j}, x_{nj} - коды элементарных понятий, описывающих отдельные элементы характеристик поверхности;

n - номер позиции кода. В этом описании отсутствует информация о способах, средствах и методах обработки, определение которых является функцией САПР.

Обоснование рационального уровня распределения функций между проектировщиком и ЭВМ произведено с учетом передачи программному комплексу функций формирования начальной предполагаемой структуры технологического процесса, дальнейшей ее детализации и корректировки. Проектировщику выделено определение тех параметров, которые трудно определить при формальном анализе исходных данных о детали: геометрические признаки, характеризующие форму поверхности; степень доступности поверхностей

обработке; технологические признаки: движения детали, необходимые для формообразования поверхностей; схема базирования.

В системе проектирования функция управления оставлена за проектировщиком: задавая схему базирования, он определяет стратегию проектирования, а программный комплекс реализует тактически данную стратегию.

Алгоритм построения информационной модели структуры детали осуществляет разбиение поверхностей на комплекты, упорядочивает комплекты в порядке их технологической выполнимости, производит упорядочение поверхностей внутри комплектов. В результате все поверхности относятся к структурным уровням модели детали, определяется формальная последовательность их выполнения по отношению порядка "выполнить раньше".

Введение дополнительных технологических поверхностей производится из массива типовых технологических поверхностей и условий их соотношения с основными поверхностями. Так, например, определяется формальное соотношение на основе анализа кода поверхности $\langle 3122111 \rangle \rightarrow \langle 2112111 \rangle$, что в описательной форме выражается как: "наружной резьбовой поверхности соответствует наружная цилиндрическая поверхность вращения". Дополнительные технологические поверхности вместе с основными образуют зависимые переходы типа "точить - нарезать резьбу".

Предполагаемые промежуточные состояния для каждой поверхности выделяются формально и их число, порядок следования не зависят от особенностей средств и методов обработки. Выделение промежуточных состояний производится на основании анализа параметров: точность поверхности, класс шероховатости и требования к взаимному расположению относительно других поверхностей. Количество промежуточных состояний зависит от начальных и конечных значений указанных параметров.

Начальная предполагаемая структура используется в качестве исходной для начала поиска единиц проектных решений и организации из них структур переходов, операций и маршрута обработки. Укрупненно решение уже существует, так как каждый комплект поверхностей теоретически может быть выполнен за одну операцию, а каждый комплекс - за одну установку или позицию.

Реальное же их число зависит от наличия и технологических возможностей средств производства, традиций предприятия и

экономических факторов, учитываемых в процессе проектирования.

Отличительными особенностями предлагаемого подхода являются: 1. Объектом анализа для проектирования служат не отдельные поверхности, а наборы поверхностей - комплекты. 2. Выбор оборудования предшествует определению методов обработки из условия реализации технологического процесса.

На этапе выбора оборудования предполагаемая структура технологического процесса преобразуется в укрупненный план операций и предварительную последовательность их выполнения. Данный этап обеспечивает выбор технически возможного и экономически целесообразного оборудования. Технически возможным является оборудование, технологические возможности которого позволят обработать возможно большее число поверхностей комплекта. В первую очередь производится поиск среди специальных средств, так как их применение технологически и экономически целесообразней. В случае отсутствия специальных станков осуществляется поиск среди универсального оборудования.

Если на одном оборудовании нельзя обработать все поверхности комплекта, производится выбор следующего и так до тех пор, пока не будет найден набор оборудования для полной обработки всех поверхностей одного комплекта. Завершается этап выбором наборов оборудования для всех комплектов детали. Выбранное оборудование укрупненно определяет методы обработки и последовательность предполагаемых операций.

Синтез структуры укрупненного маршрута обработки осуществляется в процессе упорядочения операций на основе принципа технологической совместимости, т.е. предшествования операций друг другу. Условиями предшествования служат: разделение операций по наличию регламентируемых перерывов - до термообработки и после нее; по стадиям обработки - черновой, чистовая, завершающая. Множество операций упорядочено, если относительно каждой операции известно какие операции ей предшествуют и какие за ней следуют.

На последующих этапах проектирования формируется и уточняется содержание операций. Первоначально для каждого оборудования производится выбор приспособлений, обеспечивающих обработку при заданной схеме базирования. При выборе особое внимание уделяется специальным приспособлениям для возможности

обеспечения максимальной концентрации и совмещения обработки поверхностей одного комплекса.

На этапе определения состава технологических переходов реализуется процесс отображения предполагаемых промежуточных состояний поверхностей на множество технологических переходов. Для этого определяется вид перехода, уточняется количество переходов по каждой поверхности набора и определяется общее количество переходов по всем поверхностям комплекта. Управление процессом выбора производится с помощью указаний:

- 0 - решение не приемлемо;
- 1 - переход рассчитан на получение промежуточного состояния с характеристиками, совпадающими с выдвинутыми в гипотезе;
- 2 - переход позволяет совместить получение данного промежуточного состояния с получением предыдущего;
- 3 - переход позволяет совместить получение данного промежуточного состояния с последующим;
- 4 - промежуточное состояние может быть получено на более высоком уровне и на данном уровне может быть опущено.

Предпочтительными, при прочих равных условиях, являются варианты структур переходов, обеспечивающих минимальное время обработки поверхностей одного комплекта, минимальное время обработки всех поверхностей по всем комплектам детали.

На этапе выбора инструментов допустимое множество ограничивается признаками решений предыдущих этапов. Оборудование определяет посадочные места и возможность установки инструмента по их количеству, приспособления ограничивают возможность выбора высокопроизводительного инструмента для обеспечения многоинструментной и многопредметной обработки. Переходы определяют однозначность выбора инструмента по методу обработки, с учетом результатов расчета межоперационных размеров. Оптимизация на данном этапе предусматривает обеспечение минимального числа инструментов по переходам одного комплекса внутри одного комплекта.

Корректировка структур операций производится за счет упорядочения последовательности выполнения переходов с учетом их объединения для совместной обработки по уровням комбинаций и

совокупностей для поверхностей одного комплекта. Достигается это концентрацией и совмещением переходов внутри одной операции и по всем операциям маршрута обработки.

Завершающим этапом является синтез структуры маршрута обработки, который заключается в упорядочении операций. Структурные преобразования на данном этапе включают действия: корректировку предварительно намеченной схемы маршрута, введение дополнительных операций и формирование окончательной структуры маршрута обработки.

Корректировка структуры маршрута обработки предусматривает только упорядочение основных операций, их последовательность при этом не изменяется. Введение дополнительных операций диктуется их технологической необходимостью (например, слесарные, контрольные). Синтез структуры маршрута обработки завершается составлением окончательного перечня операций технологического процесса. Полученная структура является базой для проведения всех видов дальнейших расчетов: материального и трудового нормирования, решения задач параметрического синтеза и оптимизации.

В четвертой главе произведен расчет экономического эффекта, полученного от внедрения результатов работы в системе автоматизированного проектирования технологии (САПР-Т) в научно-производственном объединении "Кислородмаш". Приведен расчет стоимости разработки программного обеспечения и эффективности от использования пакета прикладных программ. Годовой экономический эффект составил 84022 рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований теоретически обосновано и проверено с помощью машинных экспериментов, что решение задачи структурного синтеза позволяет повысить эффективность и качество разрабатываемых технологических процессов за счет более детального проектирования; снизить трудоемкость и стоимость проектирования.

2. Структуры технологических процессов зависят в первую очередь от конструктивных особенностей объектов производства,

а во-вторую - от наличия средств оснащения и производственной ситуации. На основе данной зависимости предложена модель преобразования информационной, конструктивно-технологической структуры детали в информационную модель структуры технологического процесса в автоматизированной системе проектирования.

3. На основе использования информационных единиц проектных решений разработаны универсальные алгоритмы и программы инвариантные по отношению к обрабатываемым деталям, что позволяет проектировать рабочие и перспективные, единичные и унифицированные технологические процессы на базе единого программного и информационного обеспечения.

4. Разработана методика поиска проектных решений путем сочетания формальных методов анализа множеств решений с эвристическими правилами, позволяющая произвести замену полного перебора решений на направленный поиск. Так проектирование технологического процесса на одну деталь при использовании нормативной информации, содержащей потенциалы сотен наименований станков, тысяч приспособлений и инструментов, занимает не более 4-5 минут машинного времени работы ЭВМ ЕС-1033.

5. Решение задачи синтеза структур технологических процессов позволяет определить пути повышения производительности труда в основном производстве и прогнозировать потребность предприятия в высокопроизводительном оборудовании. За счет проектирования оптимальных структур технологических действий улучшены качественные показатели процессов: увеличена доля машинного времени в штучном на 15-35%, повышена штучная производительность обработки на 8-10% при обеспечении заданных уровней точности и себестоимости изготовления деталей.

6. Разработанный метод структурного синтеза рекомендуется использовать в качестве базового при разработке информационного, математического и программного обеспечения, что позволит расширить технологические возможности, используемых в настоящее время САПР-Т.

7. Предложенный подход к решению структурного синтеза может быть распространен на проектирование других видов технологических процессов.

8. Результаты работы внедрены в составе пакета прикладных

программ в научно-производственном объединении "Кислородмаш" с годовым экономическим эффектом 84022 рублей, что подтверждается актом о внедрении.

Основное содержание диссертации отражено в двух отчетах по НИР и опубликовано в следующих работах:

1. Старец А.С., Чесноков В.В. Об опыте функционирования и возможностях совершенствования АСТП в условиях предприятий с серийным характером производства. -Эффективность процессов механической обработки и качество поверхности деталей и машин приборов: Тез. докл. респ. н.-техн. конф. -Киев: Об-во "Знание" УССР, 1977, с. 33.

2. Старец А.С., Чесноков В.В. Принципы определения структуры технологических процессов при автоматизированном проектировании. -Разработка и внедрение систем автоматизированного проектирования: Тез. докл. зональной н.-техн. конф. -Ижевск, 1981, с. 80-82.

3. Старец А.С., Чесноков В.В. Формирование технических решений из информационных единиц при автоматизированном проектировании. -Информ. листок/ ОЦНТИ. -Одесса, 1984. -4 с.

4. Чесноков В.В. Решение задачи структурного синтеза в САПР-ТП(М). -Вопросы радиоэлектроники. Технология производства и оборудования, 1985, вып. 3, с. 46-51.

