

CU 497793

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

На правах рукописи

ПЕРВУШИН Николай Николаевич

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ
НОРМАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРУППОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

05.13.12 - Системы автоматизации проектирования
05.02.08 - Технология машиностроения

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

Москва - 1991.

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель — кандидат технических наук,
доцент В.А.СЕРЕНКО

Научный консультант — кандидат технических наук,
начальник отдела I.4 НИИ ПМ
А.В.ПАСТУХОВСКИЙ

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор Н.М.КАПУСТИН
— кандидат технических наук,
доцент А.А.САРАПАЕВ

Ведущее предприятие — МПО по выпуску автоматических
линий и спецстанков, г.Москва

Защита состоится "13" июня 1991 г. на засе-
дании специализированного совета Д 053.15.03 "Вычислительная
техника" Московского государственного тех-
нического университета им. Н.Э.Баумана по адресу: 107006,

подписанный печатью, просим
присутствующего по данному адресу.

Справка берется в библиотеке

_____ 1991 г.

ш 497793

С.Р.ИВАНОВ
С.Р.ИВАНОВ

из _____ объем 1 л.
Гипография МГТУ.
Манская, 5.

Актуальность работы. Основной тенденцией современного технологического проектирования является необходимость резкого повышения производительности труда и качества технологических разработок. Это особенно важно при проектировании технологических процессов сборки, так как сборка – заключительный и наиболее ответственный этап формирования показателей качества изделия, а ее трудоемкость в общем объеме производства может достигать 30 ... 40%.

Внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет повысить производительность труда в 3 ... 10 раз, точность инженерных расчетов; минимизировать число ошибок, обусловленных ручным оформлением документов; обеспечить более эффективное взаимодействие между инженерами, конструкторами и технологами.

Однако, качество технологических разработок в значительной степени сдерживается отсутствием соответствующей математической модели изделия, которая при автоматизированном проектировании технологических процессов сборки (ТПС) полностью определяет характеристики разрабатываемой технологической системы. Основным показателем качества математической модели изделия является ее наиболее полная адекватность реальному объекту. У современных математических моделей этот показатель очень низок, что объясняется разработкой их для решения частных задач, отсутствием формализованного выбора ТПС, тем, что они не позволяют описывать все аспекты геометрического взаимодействия деталей в изделии, их соединений и не обеспечивают генерации полного множества вариантов ТПС.

С другой стороны, особое значение задача автоматизации технологического проектирования приобретает в связи с широким развитием ГАП для которых характерны многономенклатурность и частая смена объектов производства, что требует создания групповых технологических процессов сборки. Причем, наличие базы в виде полного множества вариантов ТПС изделий существенно необходимо, так как в противном случае изделия могут быть не идентифицированы как подобные, только из-за того, что требуе-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1497793

Первичный Н.И. Разработка

I

МГТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

мый для идентификации вариант ТПС одного из изделий не был задан на входе технологом-разработчиком.

Кроме того, отсутствие полного множества вариантов ТПС даже для одного изделия не позволяет ставить задачи о выборе оптимального варианта ТПС, а только лучшего из предложенных. Перебор же всех вариантов ТПС пользователем может привести к превышению сроков проектирования ТПС над сроками морального старения изделий, что особенно справедливо для ГАП.

Вышесказанным определяется актуальность настоящей работы.

Цель работы – повышение эффективности проектирования групповых процессов сборки.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Метод подхода к решению задач – метод ограничений, сущность которого заключается в задании геометрических, технологических и других ограничений на порождаемые ТПС изделия, при этом они не задают вариантов ТПС, а только способствуют их автоматической генерации.

2. Для получения множества вариантов ТПС разработана новая математическая модель изделия (ориентированный гиперграф ограничений), позволяющая осуществлять генерацию именно полного множества вариантов ТПС. В отличие от существующих математических моделей изделий ориентированный гиперграф позволяет включить единым образом не только геометрические, но и технологические ограничения (по соединениям, применяемому оборудованию и т.д.) на порядок сборки деталей изделия.

3. Построен комплекс математических моделей оценки уровня подобия изделий, включая и поиск групповых ТПС.

Методы исследования. Работа базируется на методологии системного подхода к генерации моделей объектов и процессов. Основной теоретической базой для решения поставленных задач является теория графов с элементами теорий гиперграфов и сетей Петри.

Практическая ценность. На основе проведенных исследований разработаны методика и комплекс программных средств автоматизированного проектирования наилучшего варианта ТПС (по критерию минимума трудоемкости сборочных операций) штампов для холодной объемной штамповки. Этот комплекс реализован на алгоритмическом языке СИ в среде операционной системы MS DOS. Он может использоваться как автономно, так и в составе интегрированных САПР III; его адаптация к различным производственным условиям,

в том числе и по критериям выбора варианта ТПС, машиностроительных, станкостроительных, автомобильных и других предприятий не вызывает затруднений. Кроме того, проведенные исследования позволили получить ТПС цилиндрического механизма одностороннего замка, для которого разработан эскизный проект автоматизированной линии сборки (получено авторское свидетельство № 1399049 от 01.02.88 г.). Две наиболее сложные оборочные (позиции по комплектации начинки данного изделия) были реализованы в металле как опытные образцы, на некоторые механизмы которых получено три положительных решения. Разработанный групповой ТПС цилиндрических механизмов одностороннего и двухстороннего замков реализован в виде эскизного проекта гибкой автоматической оборочной линии.

Реализация работы. Разработанная методика и комплекс программных средств внедрены на предприятии – Тушинский машиностроительный завод. Экспериментальная установка по комплектации начинки цилиндрического механизма одностороннего замка установлены на предприятии – Московском заводе автоматических линий им. 50-летия СССР.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на: Всесоюзной научно-технической конференции "Современные проблемы технологии машиностроения"; Всесоюзном научно-техническом совещании "Совершенствование технологии и повышение качества сборки станков и металлорежущего оборудования"; научном семинаре кафедр "Комплексная технология автоматизированного производства" и "Системы автоматизированного проектирования" МГТУ им. Н.Э. Баумана; научном семинаре НИИ Прикладной математики и механики.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и четырех приложений. Содержание работы изложено на 192 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 4 таблицы и списка литературы из 134 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертации, цель, научная новизна и значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ существующих математических моделей (ММ) изделий для автоматизированного проектирования ТПС как для одного изделия, так и групповых ТПС, причем для них характерно практически полное отсутствие информации, хотя известны методы определения уровня подобия изделий по конструктивно-технологическим признакам деталей и сборочных единиц. Значительно глубже проработана проблема получения наилучшего варианта ТПС изделия. Однако, известные ММ изделий имеют существенные недостатки, связанные со значительным объемом вводимой информации, не полным описанием геометрического взаимодействия деталей, отсутствием рассмотрения соединений деталей в изделии, как следствие, невозможностью генерации именно полного множества вариантов ТПС изделия. Причем последнее является принципиальным аспектом при решении оптимизационных задач и поиска групповых ТПС изделий в условиях ГАП.

Было предложено разделить комплекс критериев выбора (упорядочивания) вариантов ТПС изделия на группы:

1. Критерии, определяемые функциональными характеристиками применяемого технологического оборудования.
2. Критерии, определяемые геометрическими характеристиками изделий и технологического оборудования.
3. Критерии, определяемые необходимыми затратами для реализации разработанных ТПС.
4. Критерии, определяемые формализации общих требований, предъявляемых к ТПС.

Принадлежность критерия той или иной группе определяется достижением заданной цели (синтез структуры, параметрическая оптимизация) и соответствующим уровнем их формализации.

Одним из важнейших этапов решения задач в САПР является поиск наилучших вариантов особенно при анализе комбинаторных задач (генерация ТПС), которые характеризуются значительным объемом используемой информации и временем их решения. Такое положение потребовало рассмотрения методов решения оптимизационных задач. Основной теоретической базой работы является теория графов, поэтому значительное внимание уделено именно данным методам решения задач оптимизации.

На основании вышеизложенного формулируются основные задачи работы.

Во второй главе разработана ММ изделия для генерации имен-

но полного множества вариантов ПИС.

Структура изделия задается сборочным чертежом, который является естественной исходной информацией для генератора вариантов ПИС. Первоначально необходимо допустить все геометрически мыслимые последовательности сборочных операций, независимо от возможности их реализации. Это гарантирует начальное охватывающее множество вариантов ПИС для дальнейшего отбора в соответствии с ограничениями на имеющиеся на предприятии технологические возможности.

Таким образом, математической моделью изделия, отвечающей перечисленным выше требованиям, является ориентированный гиперграф Γ , заданный на базисном множестве деталей M и бинарном отношении G на множестве подмножеств D всех деталей изделия.

$$\Gamma = (M, G); \text{ где } M \rightarrow 2^M = D; G \subseteq D \times D \quad (1)$$

Разработанная математическая модель изделия содержит полное множество состояний изделия, включающее и нереализуемые варианты, следовательно, на следующем этапе построения формальной модели необходимо ввести определенные ограничения, которые позволили бы исключить подмножество нереализуемых вариантов формирования структуры изделия. Ввод системы ограничений основан на соответствующей интерпретации взаимосвязи вершин гиперграфов ограничений.

В общем виде гипердуга S (2) описывается тремя базисными множествами:

$$S = \langle S_1; S_2; S_3 \rangle \quad (2)$$

где S_1 - множество входов, S_2 - множество простых выходов, S_3 - множество ингибиторных выходов. Причем вход указывает направление ограничения, а выходы - какие объекты формируют данное ограничение. Например, для описания геометрического взаимодействия деталей (узлов) в изделии используется первых два (S_1 и S_2) базисных множества. С целью расширения возможностей теоретической базы введено множество S_3 , позволяющее совместно с S_1 и S_2 , моделировать взаимодействие технологического оборудования с деталями (узлами) изделия, а также описывать технологические соединения деталей в изделии.

Множество выходов $S_{23} = S_2 \cup S_3$ задает функцию F (3) действия гипердуги S :

$$F = (\wedge b_i) \wedge (\overline{b_i}) \wedge (\wedge b_i''' \vee (\overline{b_i}')), \quad (3)$$

$$S_2/S_3 \quad S_3/S_2 \quad S_2 \cap S_3$$

где b_i – булева переменная (0,1) состояний вершины V_i . Каждая вершина V_i может находиться в одном из двух состояний: 0 – объекта нет и 1 – объект есть. Гипердуга S называется действующей, если функция F приобретает значение 1 при подстановке состояний вершин V_i в b_i (в технологическом смысле – она запрещает параллельную сборку и разборку соответствующих деталей). Для более конкретной интерпретации (табл. I) гипердуги S выделим восемь подмножеств n_i , получаемых различной комбинацией от пересечения множеств S_1, S_2, S_3 (рис. I), где N – множество вершин гиперграфов ограничений ($N = \cup n_i$, $n_i \cap n_j = \emptyset$ при $i \neq j$). Примеры интерпретаций для подмножеств n_1 и n_4 приведены в табл. I.

Базовой технологической единицей для изделий машиностроения нормальной точности является понятие детали. В разработанной ММ изделия каждой детали изделия соответствует вершина в том или ином гиперграфе ограничений, а гипердуга определяет их взаимоотношение. Примеры взаимодействия вершин для случаев $N = 1, 2, 3$, где N – количество вершин в гиперграфах ограничений приведены в табл. 2.

Наличие в математической модели изделия (гиперграф Γ) подмножества нереализуемых вариантов ТПС обусловлено прежде всего отсутствием рассмотрения геометрической взаимосвязи деталей в изделии. Для устранения данного недостатка необходимо на гиперграф Γ наложить граф геометрических ограничений G_0 (4), который является частным случаем ориентированного гиперграфа, таким, что мишенью каждой пары (стрелки g) является одноэлементное множество, т.е. деталь m .

$$G_0 = (\forall g)(g \in G_0 \rightarrow (\exists m)(m \in M \wedge P_1(g) = \{m\})) \quad (4)$$

Формирование структуры этого графа определяется системой геометрических ограничений:

1. Если несколько деталей $d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im}$ мешают установить деталь d_j , то любая другая присоединенная к ним деталь, вместе с ними, будет также мешать установке детали d_j

$$(\forall g)(g \in G_0) \rightarrow (\forall g')(\forall m)(g' = (P_1(g), P_2(g)) \cup \{m\}) \wedge m \in M \rightarrow g \in G_0. \quad (5)$$

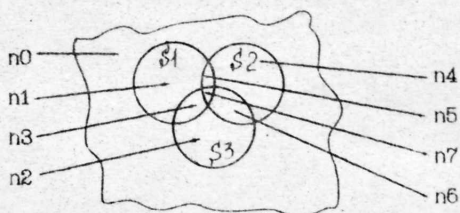


Рис. 1.

Таблица 1

2	$n1 = S1/(S2 \cup S3)$	Вершины $n1$ ($Vn1$) имеют только вход. От них действие дуги S не зависит, если S -- действующая дуга, то $Vn1$ запрещено устанавливать (снимать)
5	$n4 = S2/(S1 \cup S3)$	Вершины $n4$ ($Vn4$) имеют только простой выход. S -- действующая дуга, если все $Vn4$ находятся в состоянии "1"

Таблица 2

N	Геометрическая интерпретация	Массив гипер-дуг S	Содержательное понятие
1		$\langle 0; 0; a \rangle$	При отсутствии дет. а запрещено "пустое" изделие. Нельзя а снять последней
		$\langle a; 0; 0 \rangle$	Дет. а запрещено устанавливать первой в изделие
2		$\langle a; b; 0 \rangle$, $\langle b; a; 0 \rangle$	При наличии дет. b нельзя установить или снять дет. а
		$\langle ab; a; b \rangle$ $\langle ba; b; a \rangle$	Запрещено параллельно снимать дет. а и устанавливать дет. b
3		$\langle a; b; c \rangle$	Нельзя установить и снять дет. а, если нет дет. с, но есть дет. b
		$\langle abc; 0; ab \rangle$	Нельзя параллельно: а) установить дет. а, b, c; б) установить дет. а, b и снять с

2. Если детали $d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_n$ мешают установить деталь d , а детали $d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jk}$ мешают установить деталь d_j , то множество деталей, получаемое заменой d_j на $d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jk}$, также будет мешать установке детали d .

$$\begin{aligned} & (\forall g)(\forall g')(g \in G_0 \wedge P_{r1}(g') \in P_{r2}(g) \rightarrow (\forall g'')(g'' = \\ & (P_{r1}(g), P_{r2}(g') \cup P_{r2}(g)) / P_{r1}(g') \rightarrow g'' \in G_0. \end{aligned} \quad (6)$$

Гиперграф G_0 задается перечислением ограничений, наложенных на каждую вершину (деталь). Сами ограничения задаются списком вершин (4). Для реальных изделий необходимо минимизировать указанный перечень, поскольку он является вводимой в ЭМ информацией и может быть очень велик. Минимизация основывается на двух правилах (5) и (6), поэтому пользователю необходимо рассматривать только ближайшее окружение выбранной детали. Наличие чертежа изделия в памяти ЭМ в соответствии с особенностями разработанной ММ изделия позволит проводить данную процедуру автоматически.

Создание формальной модели изделия только на основе геометрической структуры существенно ограничивает возможности ее применения. Любое изделие состоит из множества различных соединений, например, соединений сваркой, склеиванием, прессовых соединений и т.д. Поэтому задача формализации представления соединений деталей и узлов в изделии является одной из основных при решении проблемы автоматизации проектирования ТПС.

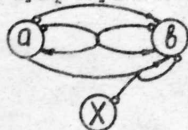
Анализ структуры и процессов формирования различных соединений позволил выявить те характерные особенности, на основе которых разработаны математические модели соединений, дающие возможность автоматически распознавать соединения самой ЭМ.

При сборке изделия образуется два основных класса соединений: разъемные и неразъемные, которые далее могут быть классифицированы по типам, видам и т.д., например, по типу сопрягаемой поверхности, подвижности деталей в соединении и т.д.

Если соединение неразъемно, то граф ограничений этого соединения не имеет внешних связей, позволяющих осуществить снятие некоторой детали совместно с деталями, не входящими в данное соединение. Разъемное соединение имеет такие связи с деталями, понимаемыми как "технологическое оборудование". Пусть оборудование X позволяет удалить деталь d из соединения, тогда

в соединении $[a, a_1, \dots, a_n]$ связь $\langle a; a_1, \dots, a_n; 0 \rangle$ заменяется на связь $\langle a; a_1, \dots, a_n; aX \rangle$, что означает запрет на удаление детали a без оборудования X . Например, формирование резьбового соединения, когда винт b закручивается в корпусную деталь a посредством оборудования X , может быть представлено следующим образом (массив гипердуг ВЗН1 не показан):

Граф ограничений



$$B3P^* = \begin{bmatrix} \text{Массив гипердуг} \\ B2H1 \\ \langle b; 0; a \rangle \\ \langle ab; 0; ab \rangle \\ \langle b; a; bX \rangle \end{bmatrix} \quad (7)$$

Необходимо отметить следующие особенности разъемных соединений: а) взаимодействие удаляемой детали соединения с технологическим оборудованием моделируется за счет использования понятия ингибиторных гипердуг и б) разъемное соединение с оборудованием X , может стать неразъемным без одного или остаться разъемным в зависимости от конкретного соединения. Последнее наиболее характерно при моделировании технологических процессов (сборки, мехобработки).

Следовательно, необходимо рассмотрение полной последовательности формирования структуры соединения от одной детали до их полного количества с учетом введенного понятия технологической псевдодетали (псевдовершины).

Общая классификация соединений деталей в изделиях с примерами реальных соединений как разъемных, так и неразъемных приведена в диссертации.

Любой ТПС изделия можно представить в виде графа-дерева. Поэтому необходим переход от математической модели изделия в форме гиперграфа Γ к множеству бинарных графов, которые могут быть полностью заданы и автоматически сгенерированы сетью S ТПС изделия. Сеть S задается на множестве состояний изделия и в формализованном виде может быть представлена следующим образом:

$$S = (\forall m)(\forall t)(m \in M \wedge t \in M \rightarrow (\exists g)(g \in G_0 \wedge g = (t, t \cup \{m\})) \quad (8)$$

На сформированной сети S любая последовательность сборки задается одним из путей из начального состояния (S_0) в конеч-

ное (S_m) и, следовательно, задача заключается в исключении на сети S путей, соответствующих ненужным вариантам ТПС.

Дальнейший анализ ТПС изделий показал, что, строго говоря, любой вариант сборки теоретически возможен при соответствующей интерпретации ТПС.

Поэтому целесообразно перейти от термина "исключение" ТПС к термину "классификация" ТПС. Анализ ТПС изделий позволил выделить следующие классы ТПС: последовательный ТПС (K0), параллельный ТПС (K1), ТПС с разборкой (K2) и т.д. Общая классификация, основные характеристики и условия образования более подробно приведены в работе.

Вышеизложенное определяет теоретический базис для генерации именно полного множества вариантов ТПС изделия.

Наличие полного множества вариантов ТПС изделия требует разработки соответствующих формальных критериев упорядочивания. Проведенный анализ существующих критериев показал, что не все они пригодны для решения оптимизационных задач. Такое положение обусловлено наличием именно полного множества вариантов ТПС изделия. Например, критерии оценки подготовленности изделия к автоматической сборке — сумма баллов и среднее число баллов сборочных компонент; категория сложности автоматизации для данного сборочного компонента и другие не могут быть использованы, так как они не позволяют автоматически описывать узлы, получаемые в процессе моделирования ТПС изделия.

Одним из основных критериев автоматической сборки является требование сохранения принципа постоянства базовой детали на всем протяжении ТПС. Этот критерий автоматически учитывается в разработанной формальной модели — ему отвечает целый подкласс сборочных процессов — K0I. Другим критерием автоматически учитываемым в модели, является требование узловой сборки изделия — подкласс K1... Кроме того, подкласс K1I (параллельная сборка деталей) позволяет минимизировать общее количество сборочных позиций на соответствующем технологическом оборудовании.

Для автоматической сборки характерно требование о проведении максимального количества сборочных операций, у которых детали подаются сверху (или с наиболее выгодных направлений). Введение данного критерия потребовало ввода дополнительной информации в виде таблицы запрещенных движений деталей относительно друг друга.

Дальнейший анализ технологических критериев и особенности применяемого теоретического аппарата позволили сделать следующие утверждения.

1. Любые технологические ограничения могут быть сведены в конечном счете к наложению дополнительных ограничений на возможные последовательности сборки и, тем самым, могут быть выражены через дополнительные гиперграфы ограничений.

2. Введение дополнительных критериев, кроме учтенных в разработанной модели, будет сводиться к введению весов дуг (вершин) на полученных графах ТПС изделия.

Третья глава посвящена проблеме поиска групповых ТПС изделий. Ее решение является достаточно сложной научно-технической задачей, поэтому целесообразно введение предварительного этапа поощенки уровня подобия изделий по конструктивно-технологическим признакам (КТП) как самих изделий, так и их деталей.

В первом случае сравнение осуществляется по разработанному комплексу математического обеспечения.

Оценка уровня подобия изделий по КТП их деталей проводится на основе разработанной ММ в виде двудольного графа, причем весовые характеристики его определяются аналогично первому случаю, но с учетом понятия двудольного графа, то есть вес дуги

f_{pq} определяется как:

$$f_{pq} = \frac{\left(\sum_{i=1}^i C_{ii} \right)_{pq}}{\sum_{i \in (K)} \text{КТП } D}, \quad (9)$$

где P и q - номера деталей в базовом и исследуемом изделиях.

Для дальнейшего решения задачи была предложена общая функция сравнения деталей по изделию в целом F_x , которая определяет метод последующей оценки (более подробно в диссертации).

С целью однозначности получаемых результатов введено нормирование основной функции сравнения в следующей форме:

$$f_2 = \frac{F_{x2}}{F_{x \max}} = \frac{\max \sum f_{pq}}{\sum p(q)}, \quad (10)$$

значение которой теперь изменяется в пределах: $0 \leq f_2 \leq 1$. Критерием положительной оценки сравнения можно принять:

$f_2 > 0,5$. Однако значения f_2 , близкие к единице, необходимо особо отметить. Они характеризуют ситуацию, когда изделия настолько подобны, что требование сборки их на одном технологическом оборудовании вполне естественно. В этом случае интервал изменения f_2 можно принять равным: $0,85 < f_2 \leq 1$. Значение: $0,5 < f_2 \leq 0,85$ определяет частичную пригодность исследуемого изделия для сборки его на технологическом оборудовании базового изделия.

Далее задача поиска групповых ТПС на базе предлагаемой формальной модели изделия сводится к задаче поиска изоморфизма графов ТПС базового и исследуемого изделий.

В четвертой главе первоначально рассматриваются две основных, но принципиально различных группы изделий — это изделия высокой точности (прецизионные) и изделия нормальной точности.

Первые имеют свои собственные конструктивные и технологические особенности, обусловленные высокими значениями точностных характеристик. Однако, значительную часть в общем количестве выпускаемых промышленностью изделий занимают изделия нормальной точности (ИНТ), характеризующиеся средними значениями допусков на основные параметры.

Принципиальным отличием их при разработке математической модели изделия (определяется целесообразностью, а на следующих этапах размерностью решаемых задач) является понятие технологической единицы. Для ИНТ понятию технологической единицы соответствует — деталь. Данное утверждение не противоречит ни геометрическим, ни технологическим аспектам рассматриваемых изделий.

Вышеизложенным определяется область существования разработанной ММ изделия: во-первых, — это изделия машиностроения, во-вторых, — это изделия нормальной точности.

В качестве апробационных образцов были выбраны цилиндрические механизмы одностороннего и двухстороннего замков, которые относятся к разработанному классу изделий — изделия с комбинаторной структурой. Основной особенностью которых является установка однотипных, но разноразмерных элементов в соответствующие ячейки корпусных деталей. Наличие конструктивной комбинаторики в их структуре существенно усложняет изготовление данных изделий,

кроме этого, они характеризуются значительными объемами производства.

Более подробно описывается методика использования полученных результатов, в частности, рассматриваются действия пользователя при задании исходных данных, при выборе класса ТПС и выборе критериев упорядочивания. Представлены блок-схемы выбора наилучшего варианта ТПС изделия и оценки уровня подобия изделий по КТП как самих изделий, так и их деталей, а также разработаны классификаторы КТП изделий и деталей.

Разработанные в диссертации методы и модели частично реализованы в виде комплекса программных средств "САПР ТПС". Все программы данного комплекса написаны на алгоритмическом языке СИ в среде операционной системы MS DOS (версия не ниже 3.0). Ядро комплекса составляют прикладные программы **TPS.EXE**, **TPS.PSC** и **TPS.BIM**, которые реализуют основные проектные процедуры формирования наилучшего варианта ТПС изделия в классе последовательных ТПС.

В пятой главе приведены результаты работы по проектированию средств автоматизации сборки выбранных апробационных образцов в виде опытного образца двух сборочных позиций по комплектации начинки цилиндрического механизма одностороннего зажима, реализованных в металле; приводятся примеры графов ТПС данных изделий; для графа группового ТПС разработан эскизный проект глубокой автоматической линии сборки.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработанный метод решения задачи синтеза полного множества вариантов ТПС изделий, основанный на задании ограничений (геометрических, технологических и т.д.) на ТПС, показал свою эффективность, особенно при проектировании групповых сборочных процессов.

2. Разработана новая математическая модель изделия (ориентированный гиперграф ограничений), позволяющая осуществлять генерацию полного множества вариантов ТПС. Ориентированный гиперграф ограничений позволяет включить единым образом не только геометрические, но и технологические ограничения (по соединению, применяемому оборудованию и так далее) на порядок сборки деталей изделия.

3. Доказано, что полное множество вариантов ТПС (ГТПС) изделия (И) позволяет перейти к рассмотрению задачи оптимизации по любым технологическим критериям, которые могут быть введены в созданную математическую модель пользователем на этапе адаптации к конкретному предприятию (производству).

4. На базе разработанной математической модели изделия создан программный комплекс, основанный на диалоге пользователя с ЭМ.

5. Реализованные методы показали высокую эффективность при эксплуатации. По многим параметрам их характеристики лучше, чем у известных аналогов. В частности, проведена минимизация ввода исходных данных генерации производных (зависимых) ограничений.

6. На практике подтверждена высокая степень адаптации системы к различным условиям эксплуатации (номенклатуре изделий, критериям выбора ТПС и т.д.).

7. На практике подтверждена адекватность разработанного математического аппарата при автоматизированном проектировании ТПС реальных изделий машиностроения нормальной точности.

8. Анализ результатов работы дает возможность сделать вывод о перспективности дальнейшего развития созданных моделей, например, в направлениях: формализации структуры технологического оборудования и логического выбора его на основе описания изделия; переход к рассмотрению проблемы формализации ТПС высокоточных изделий и т.д.

9. Единый методический подход к решению широкого класса задач в области автоматизированного проектирования сборочных процессов изделий и единый базисный математический аппарат дают возможность рекомендовать разработанную модель для использования в учебном процессе как в качестве теоретического курса, так и для лабораторных работ с системой "САПР ТПС".

10. Проведенный анализ созданных математических моделей позволил осуществить систематизацию технологических соединений и сборочных процессов на основе разработанных структурных и технологических особенностей.

11. На основе теоретических исследований был получен оригинальный групповой сборочный процесс кассетной сборки цилиндрических механизмов одностороннего и двухстороннего замыков.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Математические модели соединений деталей в изделиях / Беломестнов В.Г., Пастуховский А.В., Первушин Н.Н., Серенко В.А. / МВТУ им. Н.Э. Баумана. - М.: 1989. - 33 с. - Библиогр. 5 назв. - Рус. - Деп. во ВНИИТЭМР.

2. Метод выбора последовательности установки взаимонесопряженных деталей при сборке / Беломестнов В.Г., Пастуховский А.В., Первушин Н.Н., Серенко В.А. // Изв. вузов. Машиностроение. - 1989. - № 9. - С. 149-150.

3. Пастуховский А.В., Первушин Н.Н., Серенко В.А. О методе автоматической генерации множества вариантов технологических процессов сборки изделия в условиях ГАП / МВТУ им. Н.Э. Баумана. - М., 1988. - 25 с.; ил. - Библиогр. 6 назв. - Рус. - Деп. во ВНИИТЭМР.

4. Пастуховский А.В., Первушин Н.Н., Серенко В.А. О методе группирования изделий по конструктивно-технологическим признакам / МВТУ им. Н.Э. Баумана. - М., 1987. - 9 с.; ил. - Библиогр. 5 назв. - Рус. - Деп. во ВНИИТЭМР.

5. Пастуховский А.В., Первушин Н.Н., Серенко В.А. О методе формализации проблемы формирования групп изделий для гибких автоматизированных сборочных производств / МВТУ им. Н.Э. Баумана. - М., 1988. - 13 с.; ил. - Библиогр. 6 назв. - Рус. - Деп. во ВНИИТЭМР.

6. Первушин Н.Н. Изделия с комбинаторной структурой / МВТУ им. Н.Э. Баумана. - М., 1987. - 10 с.; ил. - Библиогр. 4 назв. - Рус. - Деп. во ВНИИТЭМР.

7. Первушин Н.Н. Методы оценки технологичности конструкций изделий в ГАП // Труды МВТУ. - 1988. - № 501 "Прогрессивная технология гибкого автоматизированного производства". - С. 63-73.

8. Первушин Н.Н., Серенко В.А. Конструктивно-технологические признаки высокоточных изделий // МВТУ им. Н.Э. Баумана. - М., 1988. - 17 с.; ил. - Библиогр. 4 назв. - Рус. - Деп. во ВНИИТЭМР.

9. Первушин Н.Н., Серенко В.А. Обеспечение надежности работы кодовых механизмов // Современные проблемы технологии машиностроения: Тезисы докл. Всесоюз. научн. конф. - М., 1986. - 158 с.