

Ep. 6.7

454

TALLINNA  
POLÜTEHNILISE INSTITUUDI  
TOIMETISED

454

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО  
ИНСТИТУТА

TALLINN

**ТРИ**  
**'78**

Сборник статей по машино-  
строению ХУ1

АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ





Ep. 6.7

454

**ТПИ  
'78**

**TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED**

**ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

УДК 658.512+621.9+681.3

Сборник статей по машиностроению ХУ1

●  
АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ

Таллин 1978

65

NSV  
Teaduslik  
Reematoloog  
IV  
Teaduste Akadeemia

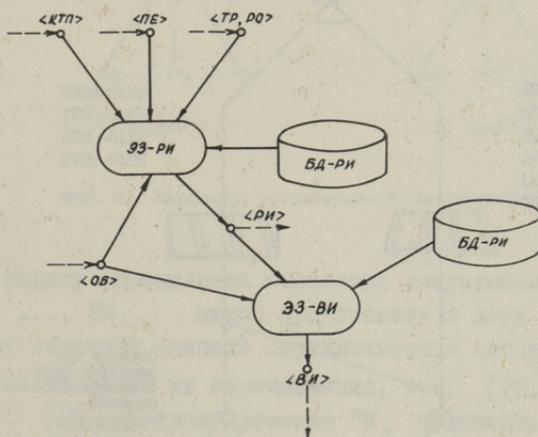
УДК 65.011.002.5

Р.А.Коттнер, Э.В.Юрвес

ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР РЕЖУЩИХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ  
ИНСТРУМЕНТОВ В СИСТЕМАХ МАШИННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Задачи выбора режущих и вспомогательных инструментов являются элементами общей задачи проектирования операции в системах машинного проектирования технологических процессов механической обработки. Назовем их элементарными задачами выбора режущих и вспомогательных инструментов и обозначим соответственно через "ЭЗ-РИ" и "ЭЗ-ВИ".

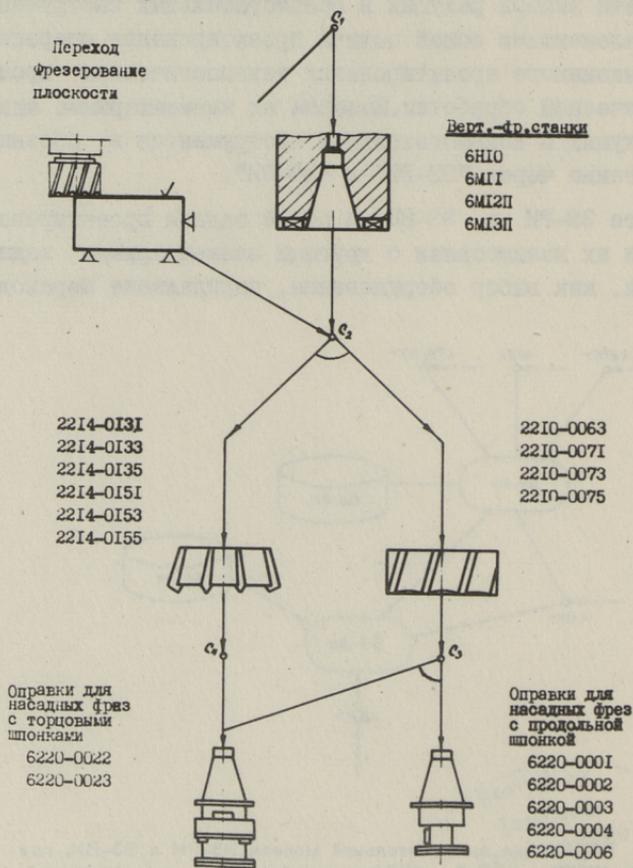
Место ЭЗ-РИ и ЭЗ-ВИ в общей задаче проектирования операции и их взаимосвязи с другими элементарными задачами, такими, как выбор оборудования, определение переходов,



Фиг. 1. Граф-схема вычислительной модели ЭЗ-РИ и ЭЗ-ВИ, где <КТП>, <ОБ>, <ПЕ> - наборы данных (машинные образы) описания конструктивно-технологических признаков, оборудования, переходов.

расчет технологических размеров и др., определяется вычислительными моделями ЭЗ-РИ и ЭЗ-ВИ. Задача построения вычислительной модели заключается в установлении зависимости результирующих наборов данных <РИ> и <ВИ> (машинных образов РИ и ВИ) от входных наборов данных и в реализации этой зависимости при помощи программных средств, доступных для данной системы машинного проектирования.

Типовая вычислительная модель ЭЗ-РИ и ЭЗ-ВИ представлена на фиг. 1, которая соответствует схеме, представленной на фиг. 2. Задачу оптимального выбора режущих и вспомогательных инструментов можно представить последовательностью следующих задач:



Фиг. 2. Схема взаимосвязи ЭЗ-РИ и ЭЗ-ВИ.

1) определение множеств альтернативных решений  $\{PI\}$  и  $\{VI\}$ ;

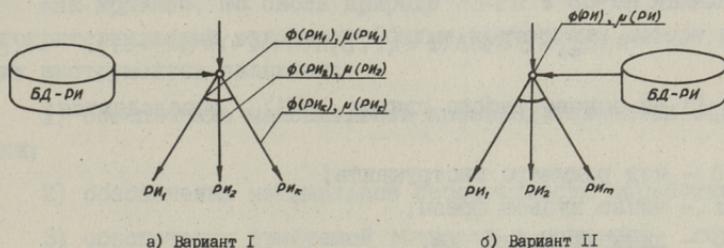
2) выделение из множеств  $\{PI\}$  и  $\{VI\}$  технически допустимых решений  $\{PI_{i_1}, PI_{i_2}, \dots, PI_{i_m}\}, \{VI_{j_1}, VI_{j_2}, \dots, VI_{j_m}\}$ ;

3) оценка качества и упорядочение технически приемлемых решений на основе технико-экономических критериев;

4) оптимальная комплектация операций инструментами.

В системах машинного проектирования технологических процессов множества  $\{PI\}$  и  $\{VI\}$  определяются соответствующими базами данных БД-PI и БД-VI.

Базы данных должны максимально отражать возможности применения тех или других инструментов, они должны своевременно отражать все изменения в реальных условиях производства. Состав базы данных необходимо определить на основе анализа номенклатуры обрабатываемых деталей с широким применением технологической унификации и стандартизации.



Фиг. 3. Варианты представления элементарных задач.

Задачу определения множества допустимых решений  $\{PI_{i_1}, PI_{i_2}, \dots, PI_{i_m}\}$  можно представить в двух вариантах. По первому варианту сначала ограничивается набор альтернативных решений путем их перечисления, т.е.  $\{PI_1, PI_2, \dots, PI_k\} \subset \{PI\}$ . Каждому решению  $PI_i$  приписываются логические выражения проверки допустимости решения  $\Phi(PI)$  и правила приоритетов  $\mu(PI)$  оценки качества решения. Графически такой вариант представить в виде точки разветвления "и/или" графа /I/ (фиг. 3, вариант I).

По второму варианту (фиг. 3, вариант П) множество допустимых решений определяется логическим выражением запроса  $\Phi$  (РИ) на базу данных БД-РИ. Запросы  $\Phi$  (РИ) являются логическими функциями от элементов входных наборов данных и наборов данных описания режущих инструментов и представляют собой требования, сформулированные на языке запроса, принятом в данной системе машинного проектирования.

Примерами таких запросов являются [2]:

1) выбор фрез торцевых насадных из стали P18 для чистовой и получистовой обработки

$$\Phi(\text{РИ}) = [(KOD = 2210) \wedge (\frac{2 \cdot z}{360^\circ} \cdot \arcsin \frac{B}{D} \geq 2) \wedge (z > 1,5\sqrt{D}) \wedge \\ \wedge (4 \leq KЧ \leq 7) \wedge (КТ \geq 2)];$$

2) выбор цельных цилиндрических фрез с винтовым зубом для обдирочной обработки

$$\Phi(\text{РИ}) = [(KOD = 2200) \wedge ((\arccos(1 - \frac{2t}{D}) \cdot \frac{z}{360^\circ} + \frac{B \cdot z}{\pi D \operatorname{ctg} \omega}) \geq 2) \wedge \\ \wedge (B_{\text{фр}} > B + 5) \wedge (z < 1,2\sqrt{D}) \wedge (KЧ \leq 4) \wedge (КТ > 3)],$$

где 1) на основе набора данных <РИ> определяются:

- KOD - код режущего инструмента;
- z - число зубьев фрезы;
- D - диаметр фрезы, мм;
- $\omega$  - угол подъема винтовой канавки;
- $B_{\text{фр}}$  - ширина фрезы, мм;

2) на основе набора данных перехода <ПЕ> определяются:

- КТ - класс точности обработки;
- KЧ - класс чистоты обработки;

3) на основе набора данных размеров обработки <РО, ТР> определяется:

- B - ширина фрезерования, мм.

Аналогично описываются запросы на выбор вспомогательных инструментов, так, например, запрос на выбор оправки для насадных фрез с продольной шпонкой

$$\Phi(\text{ВИ}) = (\text{КОД} \leq 6220) \wedge (D_{\text{ФР}} \leq 50) \wedge (D_{\text{ВИ}} = d_{\text{ФР}}) \wedge$$

$$\wedge (K_{\text{прис. пов. ви}} = K_{\text{прис. пов. об}}),$$

где I) на основе набора данных  $\langle \text{ВИ} \rangle$  определяются:

$D_{\text{ФР}}$  - диаметр фрезы;

$d_{\text{ФР}}$  - диаметр отверстия фрезы;

КОД - код вспомогательного инструмента;

$D_{\text{ВИ}}$  - диаметр оправки;

$K_{\text{прис. пов. ви}}$  - код присоединительной поверхности;

2) на основе набора данных  $\langle \text{ОБ} \rangle$  определяется:

$K_{\text{прис. пов. об}}$  - код присоединительной поверхности.

Целью ввода приоритетов  $\mu$  ( $\text{PI}_i$ ) является построение соотношений превосходства на множестве допустимых решений и отбрасывание из дальнейшего рассмотрения тех решений, относительно которых можно на данном этапе проектирования с достаточной уверенностью сказать, что они хуже остальных.

Как правило, по своей природе ЭЗ-ПИ и ЭЗ-ВИ являются многокритериальными задачами. Общими критериями выбора режущих инструментов являются:

1) обеспечение максимальной производительности обработки;

2) обеспечение минимальной себестоимости обработки;

3) обеспечение требуемой точности и качества обработки.

При разработке правил приоритетов эти общие критерии заменяются множеством конкретных критериев (приоритетов), которые в зависимости от конкретных условий оценивают приближенно выбранные общие критерии.

Для разработки правил оценки общих критериев необходимо составить приближенные зависимости приоритетов от параметров входных наборов данных элементарных задач. Приоритеты определяются относительно заранее выбранных эталонов (эталонных инструментов). Так, например, для критерия обеспечения максимальной производительности обработки необходимо исходить из зависимости машинного времени от ха-

ракторных параметров режущих инструментов. Например, для торцевых фрез с материалом режущей части твердого сплава получим следующие выражения определения приоритета:

$$\mu_1(PI_i) = \frac{A_3 z_3}{A_i z_i} \cdot \left(\frac{T_3}{T_i}\right)^{-0,3} \cdot \left(\frac{D_3}{D_i}\right)^{1,3} \cdot \frac{\left(\left[\frac{B}{D_3}\right] + 1\right)}{\left(\left[\frac{B}{D_i}\right] + 1\right)}, \quad (I)$$

где  $A_3$  – постоянная, зависящая от конструктивных параметров эталона и обрабатываемого материала;

$A_i$  – постоянная, зависящая от конструктивных параметров инструмента и обрабатываемого материала;

$T_3, T_i$  – период стойкости эталона и инструмента;

$z_3, z_i$  – число зубьев эталона и инструмента;

$D_3, D_i$  – диаметр эталона и инструмента;

$[x]$  – целая часть от  $x$ .

Для критерия обеспечения минимальной себестоимости обработки необходимо исходить из себестоимости эксплуатации режущего инструмента. Выражение определения приоритетов в этом случае имеет вид:

$$\mu_2(PI_i) = \frac{C_{n_i}(n_{n_i}+1)(s_3+n_{n_3}C_{n_3})}{(s_i+n_{n_i}C_{n_i})C_{n_3}(n_{n_3}+1)}, \quad (2)$$

где  $s_i, s_3$  – первоначальная стоимость инструмента и эталона;

$n_{n_i}, n_{n_3}$  – допустимое число переточек инструмента и эталона;

$C_{n_i}, C_{n_3}$  – себестоимость одной переточки инструмента и эталона.

Точность и качество обработки во многом зависят от равномерности процесса фрезерования.

Для всех фрез равномерность процесса фрезерования можно характеризовать числом зубьев, одновременно находящихся в работе. Соответствующее правило определения приоритета для торцевых фрез:

$$\mu_3(PI_i) = \frac{z_i \arcsin \frac{B}{D_i}}{z_3 \arcsin \frac{B}{D_3}}, \quad (3)$$

где  $B$  – ширина фрезерования.

Аналогично можно вывести выражения приоритетов для выбора материала режущей части, качества обрабатываемой поверхности и др.

Для ЭЗ-ВИ установление приоритетов не имеет такого значения, как для ЭЗ-РИ. Основными критериями здесь являются сложность установки и наладки режущего инструмента, а также жесткость.

Как показывает практика, получение однозначного решения уже возможно на основе  $\Phi$  (ВИ).

Обозначим через  $G = \{G_i\}$ ,  $i = 1, m$  множество приоритетов оценки качества решения элементарной задачи выбора режущего инструмента. Как результат оценки качества решений получим для **любой** пары допустимых решений  $PI'$  и  $PI''$  множества приоритетов  $I^+(PI', PI'')$ ,  $I^-(PI', PI'')$  и  $I^0(PI', PI'')$ , для которых соответственно:

если  $\mu_i(PI') > \mu_i(PI'')$ , то  $i \in I^+$ ;

если  $\mu_i(PI') = \mu_i(PI'')$ , то  $i \in I^0$ ;

если  $\mu_i(PI') < \mu_i(PI'')$ , то  $i \in I^-$ .

Определяем вес отдельных приоритетов как  $p_i$ .

Режущий инструмент  $PI'$  считается лучшим по сравнению с инструментом  $PI''$ , если

$$f(PI', PI'') = \frac{1}{m} \left( \sum_{i \in I^+} p_i \mu_i - \sum_{i \in I^-} p_i \mu_i \right) > c, \quad (4)$$

где  $c$  - необходимый уровень или порог, определяющий с заданной надежностью превосходство  $PI'$  над  $PI''$ .

Правило (4) дает возможность построения графа превосходства инструментов.

Как правило, операция состоит из различных переходов, для осуществления которых возможны различные наборы технически допустимых инструментов.

Со стороны структуры операции и применяемого оборудования ограничено допустимое количество инструментов на операцию  $m_{доп}$ .

Комбинацию из  $m$  инструментов  $k' = (PI_{i_1}, PI_{i_2}, \dots, PI_{i_m})$  считаем лучшей по сравнению с комбинацией  $k'' = (PI_{j_1},$

$PI_{j_2}, \dots, PI_{j_m}$ ), если она удовлетворяет ограничению  $m \leq m_{\text{дон}}$ , и аналогично (4) условию,

$$f(k', k'') = \frac{1}{m} \left( \sum_{\mu_i \in I^+} \mu_i p_i - \sum_{\mu_i \in I^-} \mu_i p_i \right) > c, \quad (5)$$

где  $\mu_i$  - взвешенная сумма приоритетов для всех переходов  $\Pi_u$ , т.е.

$$\mu_i = \sum_{u=i,l} \lambda(\Pi_u) \mu_i(k, \Pi_u),$$

где  $\lambda(\Pi_u)$  - вес перехода  $\Pi_u$ .

Оптимальной считается такая комбинация инструментов, которая дает максимум выражению (5).

На кафедре технологии машиностроения разработан язык описания задач оптимального выбора режущих и вспомогательных инструментов для типовых операций и разработан интерпретатор для ЭВМ "Минск-32" на основе этого языка. Задача оптимального выбора режущих и вспомогательных инструментов включена в систему машинного проектирования технологических процессов механической обработки турбинных лопаток.

#### Л и т е р а т у р а

1. К ю т т н е р Р.А., М е с и л а Р.А. Формальное описание структур обобщенных компоновок средств технологического оснащения. "Гр. Таллинск. политехн. ин-та", № 412, 1976, с. 23-36.

2. Г р а н о в с к и й Г.И., Г р у д о в П.П., К р и в о у х о в В.А. и др. Резание металлов. М., Машгиз, 1954, с. 472.

3. В у л ь ф А.М. Резание металлов. М., "Машиностроение", 1973, с. 428.

Optimierte Werkzeug- und Werkzeugträgerauswahl  
bei der Automatisierung der Fertigungsprozess-  
gestaltung

Zusammenfassung

Es wird ein Optimierungsmodell zur automatischen Werkzeug- und Werkzeugträgerermittlung konzipiert und die Optimierungsmethode vorgestellt.

Die Werkzeuge und Werkzeugträger, die alle technologische Voraussetzungen für eine gegebene Bearbeitungsaufgabe erfüllen, werden entsprechend den Wünschen des Anwenders mit Hilfe der Optimierungskriterien bewertet.



УДК 65.011.002.5

Р.А.Кюйтнер, В.В.Степанов

### ПОДГОТОВКА АЛГОРИТМОВ И БАЗЫ ДАННЫХ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Одной из первоочередных задач АСТП является выбор метода построения и реализации проектирования маршрутной технологии. Можно выделить следующие методы построения технологических маршрутов обработки деталей:

1) повторное использование маршрутов обработки, маршрут обработки конкретной детали назначается по конструктивно-технологическому подобию т.н. "детали-прототипа" и может отличаться от маршрута обработки последнего лишь исключением некоторых операций;

2) построение маршрутов обработки на основе разработанных типовых или групповых процессов;

3) разработка индивидуальных (оригинальных) маршрутов обработки на основе общих закономерностей технологии машиностроения.

В различных областях применения относительные доли этих методов могут значительно колебаться. По данным работы [1], в которой проанализированы 10000 часов работы технолога, можно характеризовать частоту применения этих методов в общем машиностроении следующим образом (табл. 1).

Применительно к более широкому внедрению машинных методов построения технологических процессов необходимо значительно повысить долю построения маршрутов обработки на основе типовых и групповых процессов.

Можно установить следующее соответствие между методами построения маршрута и задачами подготовки алгоритмов и базы данных для автоматизированных систем проектирования технологических процессов (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Методы построения маршрута обработки	Объем применения методов	
	часы	%
Повторное использование маршрутов обработки	3420	33
Построение маршрутов на основе типовых и групповых процессов	617	6
Разработка индивидуальных маршрутов	6120	61

Т а б л и ц а 2

№ п.п.	Методы построения маршрута обработки	Задачи, решаемые при подготовке алгоритмов и базы данных
1	2	3
1.	Повторное использование обработки	<p>1.1. Задача поиска детали-прототипа по конструктивно-технологическому подобию.</p> <p>1.2. Поиск маршрута обработки детали-прототипа и его присвоение (при необходимости с некоторыми уточнениями) заданной детали.</p>
2.	Построение маршрутов на основе типовых и групповых процессов	<p>2.1. Построение классов конструктивно-технологически подобных деталей.</p> <p>2.2. Анализ и обобщение маршрутов обработки для всего класса подобных деталей.</p> <p>2.3. Разработка технологических правил проверки применимости обобщенного маршрута.</p> <p>2.4. Построение алгоритмов и базы данных проектирования маршрута обработки на основе обобщенного маршрута.</p>

I	2	3
---	---	---

- |  |  |
|--|--|
| 3. Разработка индивидуальных маршрутов | 3.1. Разработка совокупности технологических правил построения маршрута обработки и их реализация в виде алгоритмов и базы данных. |
|--|--|

Примеры решения задач 1.1, 1.3, 2.1, на базе технологической информационной системы, разработанной на кафедре технологии машиностроения Таллинского политехнического института приведены в [2].

Построение алгоритмов и базы данных проектирования индивидуальных маршрутов рассмотрено в работах [3], [4].

Реализация алгоритмов проектирования маршрута должна удовлетворять следующим требованиям:

- методика описания и алгоритмизации должна допускать сравнение и проверку применимости альтернативных решений с наименьшими затратами времени и памяти;

- выбранные на начальных этапах проектирования решения должны, с большей вероятностью, представлять собой и оптимальные решения.

Под построением маршрута обработки  $M$  в системах машинного проектирования технологических процессов понимается разработка последовательности т.н. "проектных операций"  $PO_i$ , т.е.

$$M = PO_1 < PO_2 < \dots < PO_N.$$

Проектной операцией  $PO_i$  называется комплекс алгоритмов и база данных, необходимых для проектирования операции  $O_i$  процесса обработки детали  $D$ .

Критериями целесообразности объединения алгоритмов проектирования операции в одну  $PO$  являются требования единообразия применяемого оборудования и схем базирования [5]. Применение одинакового оборудования предопределяет единообразие применяемых видов обработки, обрабатываемых комплексов поверхностей (по форме и размерам) и их одинаковую точность и качество.

В системах машинного проектирования технологических процессов целесообразно определить маршрут обработки на основе т.н. "обобщенного маршрута"  $M^0$ , построенного для определенного класса  $K$  геометрически и технологически подобных деталей.

Обобщенный маршрут разрабатывается объединением и обобщением маршрутов обработки деталей, входящих в данный класс  $K$ .

Построение обобщенного маршрута включает в себя решение следующих задач.

1. Построение класса конструктивно-технологически подобных деталей и определение т.н. "обучающей выборки" данного класса, как множества деталей  $\{D_1, D_2, \dots, D_m\} \subset K$ .

2. Построение граф-схемы (таблицы описания) обобщенного маршрута на базе объединения маршрутов обработки деталей обучающей выборки данного класса.

3. Проверку правильности полученного объединенного маршрута, "фильтрацию" несущественных особенностей маршрутов обработки конкретных деталей (унификацию маршрутов).

4. Разработку организационно-технологических условий выбора альтернативных операций.

5. Разработку правил приоритета альтернативных операций.

6. Проверку качества обобщенного маршрута.

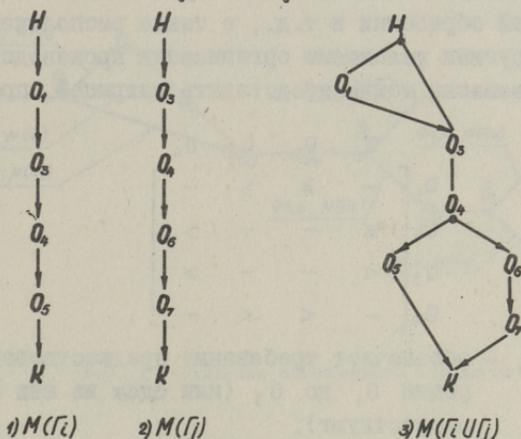
Класс деталей определяется объединением нескольких групп геометрически и технологически подобных деталей, т.е.  $K = \Gamma_1 U \Gamma_2 U \dots U \Gamma_k$ , где группы  $\Gamma_i$  описываются логическими выражениями  $\Phi_i(x)$  поиска деталей, составленных на основе конструктивно-технологических признаков  $x$ , т.е.

$$\Gamma_i = \{ D \mid \Phi_i(x) \}.$$

Отсюда получим логическое выражение для определения области применимости обобщенного маршрута  $M^0$ , которое совпадает с логическим выражением образования данного класса деталей и определяется в виде

$$\Phi(M^0) = \Phi_1(x) \vee \Phi_2(x) \vee \dots \vee \Phi_k(x).$$

Для построения объединенного маршрута необходимо в маршрутах обработки деталей обучающей выборки  $\{D_1, D_2, \dots, D_m\}$  конкретные операции заменить проектными, т.е. определить, какая проектная операция  $\Pi O_j$  из накопленного архива проектных операций  $\{\Pi O_i, i=1, N\}$  может порождать данную операцию  $O_i$ .  $\Pi O_j \rightarrow O_i$ , или иными словами, необходимо разработать логическое условие применяемости проектной операции  $\Phi(\Pi O_j)$ , при истинности которой можно писать секвенцию  $\Phi(\Pi O_j) \vdash (\Pi O_j \rightarrow O_i)$ .



Фиг. 1. Построение объединенного маршрута  $M(G_i \cup G_j)$  для группы деталей  $G_i$  и  $G_j$ .

Для решения этой задачи необходимо иметь некоторое описание (машинный образ) операции  $\langle O_i \rangle$ , чтобы можно было путем сравнения этого образа с  $\Phi(\Pi O_j)$  сопоставить  $\Pi O_j$  с этой операцией. В дальнейшем понимается под операцией всегда проектная операция.

Объединением маршрутов двух групп деталей  $M(G_i)$  и  $M(G_j)$  получается объединенный маршрут  $M(G_i \cup G_j)$ , охватывающий маршруты обработки обеих групп деталей  $G_i$  и  $G_j$ , что графически представляется в виде граф-схемы объединенного маршрута (фиг. 1). Область применения объединенного маршрута  $M(G_i \cup G_j)$  определяется выражением

$$G_i \cup G_j = \{D \mid \Phi_i(x) \cup \Phi_j(x)\}.$$

Полученный путем формального объединения предварительный объединенный маршрут содержит все особенности составляющих маршрутов, в т.ч. и не характерные для данного класса деталей.

Анализ объединенного маршрута заключается в проверке этого маршрута с т.н. правилами предшествования операции в маршруте. Правила предшествования операции определяются на основе общих правил построения маршрутов, как, например, место операций обработки базовых поверхностей, место операции термической обработки и т.д., а также расположением оборудования и другими условиями организации производства. Правила предшествования можно представить матрицей предшествования

$$\begin{array}{c}
 0_1 \quad 0_2 \quad 0_3 \quad 0_4 \\
 \begin{array}{c}
 0_1 \\
 0_2 \\
 0_3 \\
 0_4
 \end{array}
 \left[ \begin{array}{cccc}
 - & \geq & > & - \\
 \leq & - & - & > \\
 < & - & - & > \\
 - & < & < & -
 \end{array} \right],
 \end{array}$$

где  $0_1 > 0_3$  - обозначает требование предшествования операции  $0_1$  до  $0_3$  (или одна из них или обе отсутствуют);

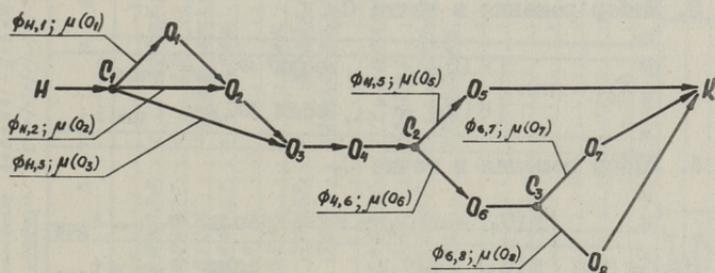
$0_1 \geq 0_2$  - обозначает предшествование  $0_1$  до  $0_2$ , но они обе должны присутствовать или обе отсутствовать;

$0_1 - 0_4$  - обозначает отсутствие требований на последовательность пары операции  $0_1$  и  $0_4$ .

Целесообразность подключения некоторой пары в обобщенный маршрут можно определить по частоте появления данной пары в объединенном маршруте. Нетипичными являются пары, для которых частота появления  $n$  меньше выбранного критического уровня. При этом необходимо отметить, что такая оценка целесообразности включения операции в обобщенный маршрут может иметь только вспомогательный характер и окончательное решение должно принадлежать технологу.

Реализация любой операции обобщенного маршрута связана с определенными технико-организационными условиями, определяемыми в основном возможностями применяемых или предполагаемых средств технологического оснащения.

В объединенном маршруте возможно для каждой операции  $O_i$  осуществление обработки на различном, но одинаковом по назначению оборудовании  $OБ_j, j=1, k$ . Каждая единица оборудования  $OБ_j$  характеризуется областью его применения, задаваемая логическим выражением  $\Phi_{OБ_j}(x)$ , т.е. на оборудовании  $OБ_j, j=1, k$ , технически возможна обработка множества деталей  $\{D | \Phi_{OБ_j}(x)\}$ . Область применения операции определяется техническими характеристиками оборудования  $OБ_j, j=1, k; \{D | \Phi_{OБ_1}(x) \cup \Phi_{OБ_2}(x) \cup \dots \cup \Phi_{OБ_k}(x)\}$ .



Фиг. 2. Описание обобщенного маршрута МО.

Логические условия выбора проектных операций в описании обобщенного маршрута (см. фиг. 2)  $\Phi_{k,l}, \Phi_{k,n}$  определяются на основе анализа различий в условиях выбора  $\Phi(O_l)$  и  $\Phi(O_n)$  с учетом выбора предшествующей операции  $\Phi(O_k)$ . Логическое условие в начальной точке граф-схемы N определяется условиями формирования данного класса деталей K.

При разработке маршрута обработки для конкретной детали  $M = O_1 < O_2 < \dots < O_n$  на основе обобщенного  $M^0$ , необходимо решение следующей задачи оптимизации:

$$\min_{M \in M^0} K(M) = \sum_{i=1}^n k(O_i) \quad (I)$$

$$\Phi(O_1) \wedge \Phi(O_2) \wedge \dots \wedge \Phi(O_n) = t_{зуб}$$

где  $K(M), k(O_i)$  - себестоимость маршрута и операции  $O_i$  соответственно.

Данная задача решается методами динамического программирования по следующей схеме решения (для примера фиг. 2).

1. Определение себестоимости операции  $O_5$ ,  $O_7$  и  $O_8$

$$K(O_5), K(O_7) \text{ и } K(O_8),$$

2. Выбор решения в точке  $C_3$

$$f_{C_3} = \min \left\{ \begin{array}{l} K(O_7), \text{ если } \Phi_{6,7} = t_{2ue} \\ K(O_8), \text{ если } \Phi_{6,8} = t_{2ue} \end{array} \right\},$$

3. Выбор решения в точке  $C_2$

$$f_{C_2} = \min \left\{ \begin{array}{l} K(O_5), \text{ если } \Phi_{4,5} = t_{2ue} \\ K(O_6) + f_{C_3}, \text{ если } \Phi_{4,6} = t_{2ue} \end{array} \right\},$$

4. Выбор решения в точке  $C_1$

$$f_{C_1} = \min \left\{ \begin{array}{l} K(O_1) + K(O_2) + K(O_3), \text{ если } \Phi_{n,1} = t_{2ue} \\ K(O_2) + K(O_3), \text{ если } \Phi_{n,2} = t_{2ue} \\ K(O_3), \text{ если } \Phi_{n,3} = t_{2ue} \end{array} \right\}.$$

В условиях реализации АСТП на этом этапе разработки маршрута отсутствуют данные, требуемые для определения себестоимостей обработки, поэтому необходима замена себестоимостей в задаче (I) правилами приоритетов, которые должны уже на этапе построения маршрута с достаточной надежностью выделять эффективные решения и отбрасывать из дальнейших рассмотрений нецелесообразные варианты.

Правила приоритетов выбора операций необходимо установить с учетом приведенной схемы решения задачи (I).

Приоритеты необходимо определить лишь для пересекающихся областей технического применения альтернативных операций

$$\Phi(O_n) \cap \Phi(O_l).$$

Разработанный на кафедре технологии машиностроения входной табличный язык описания технологических решений приспособлен и для описания обобщенных маршрутов и алгоритмов построения индивидуальных маршрутов обработки деталей на основе обобщенных.



Примеры фрагментов применения языка приведены на фиг. 3. Для обработки алгоритмов проектирования маршрутов обработки на основе обобщенных разработана система программ и исходная документация к ним.

#### Л и т е р а т у р а

I. G r a a l m a n n, H. Ein System zur automatischen Ermittlung von Arbeitsgangsfolgen auf der Basis einer analytischen Beschreibung der Bearbeitungsprozesses, Dissertation, TH. Aachen, 1975.

2. В я л л о А.А., К и м м е л ь А.А., К ю т т н е р Р.А., М е с и л а Р.А., П а п с т е л Ю.В., Ш е г л о в Н.Н. Механизация и автоматизация технологической подготовки производства. Таллин, "Бит", 1976, 129 с.

3. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении. Под ред. Г.К. Горанского, М., "Машиностроение", 1976, 240 с.

4. Ц в е т к о в В.Д. Системы автоматизации проектирования технологических процессов. М., "Машиностроение", 1972, 240 с.

5. К а п у с т и н Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М., "Машиностроение", 1976, 288 с.

R. Küttner, V. Stepanov

#### Ausarbeitung von Algorithmen und Datenbasis zur Ermittlung von Arbeitsgangsfolgen

#### Zusammenfassung

Es wird eine Methode zur automatischen Ermittlung von Arbeitsgangsfolgen auf der Basis der verallgemeinerten Bearbeitungsfolge vorgestellt. Die Zuordnungslogik zur Ermittlung der Arbeitsgangsfolge wird als Optimierungsaufgabe mitgeteilt.

УДК 621.9.02-229.65

А.Л. Тамм

ОПИСАНИЕ И ВЫБОР ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В СИСТЕМАХ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

При автоматизированном проектировании технологических процессов [1] возникает вопрос выбора приспособлений. Эту проблему целесообразно решить используя типовые конструкции приспособлений (типовые компоновки), в которых можно выделить две части: базисную и наладочную. Составные элементы наладочной части условимся называть сменными.

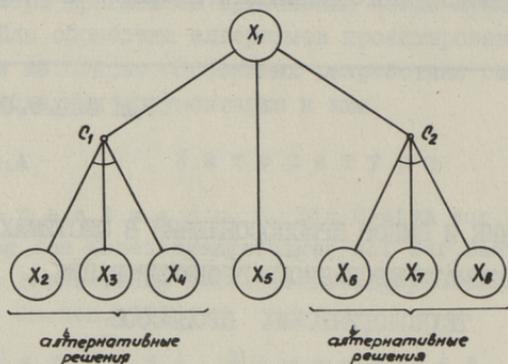
Для задачи выбора приспособлений структуру типовых конструкций приспособлений целесообразно описать на уровне спецификации, указывая состав и взаимные связи между составными элементами, что реализуется при помощи так называемых "или/и" графов [2].

Граф на фиг. 1 изображает структуру приспособления, состоящего из восьми составных элементов  $X_i$  ( $X_1$  - базисная часть и входящие в нее сменные элементы  $X_2 \dots X_8$ ) и  $v$  - ветвления графа соответствуют альтернативным решениям. На фиг. 2 приведена схема выбора приспособлений для операции. В точках разветвления  $C_1, C_2, C_3, C_4$  необходимы условия выбора. Процесс выбора удобно разделять на два этапа:

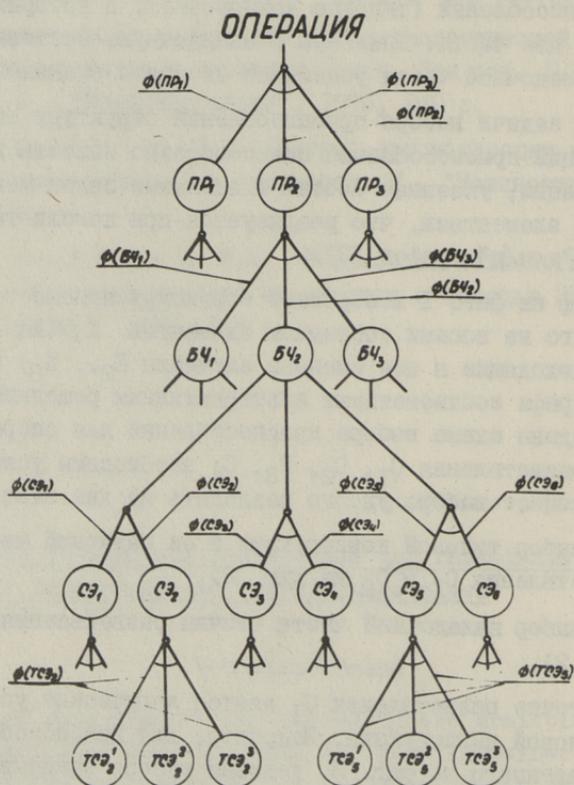
- выбор типовой конструкции и ее базисной части (точки разветвления  $C_1$  и  $C_2$  на фиг. 2),

- выбор наладочной части (точки разветвления  $C_3$  и  $C_4$  на фиг. 2).

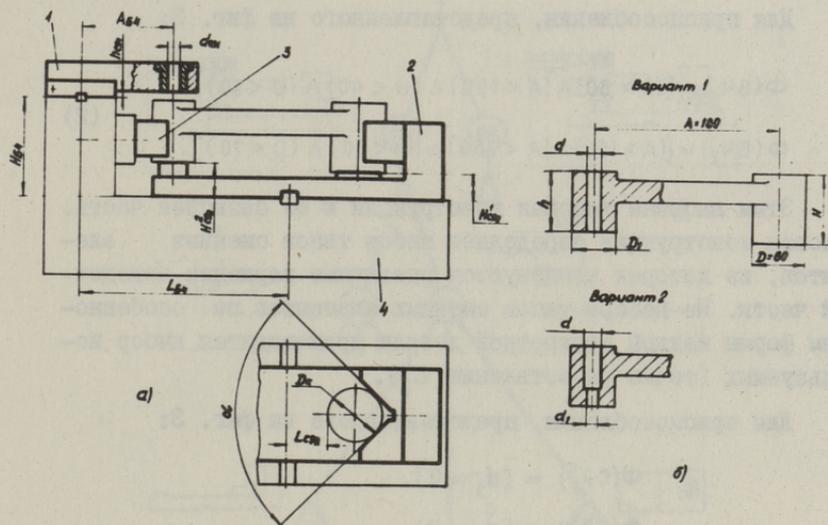
В точке разветвления  $C_1$  даются логические условия выбора типовой конструкции. Например, для приспособления, представленного на фиг. 3, условия выбора записываются:



Фиг. 1. "или/и" граф структуры приспособления.



Фиг. 2. Схема выбора приспособлений для операции: ПР - типовая конструкция; БЧ - базисная часть; СЭ - сменный элемент; ТСЭ - типоразмер сменного элемента;  $\Phi(x)$  - условия выбора элементов.



Фиг. 3. Типовое приспособление для сверления отверстия в деталях типа рычагов: а - приспособление (1,2,3 - сменные элементы; 4 - базисная часть); б - деталь.

$$\Phi(\Pi P) = [(КОП = 72150) \wedge (КОД = 4205) \wedge (КБ = 320652) \wedge (КО = 02385)], \quad (I)$$

где  $\Phi(\Pi P)$  - условия выбора типовой конструкции;

КОП - код операции: содержит коды месторасположения, вида обрабатываемой поверхности детали и вида работы, полученных в результате упорядочения соответствующих данных;

КОД - код детали, уточняющий геометрическую форму обрабатываемой детали;

КБ - код технологической схемы базирования;

КО - код положения координатной системы детали относительно координатной системы станка.

В уравнениях (I) - (7) числовые значения кодов даны как пример.

При выборе базисной части приспособления (точка разветвления  $C_2$ ) в общем случае уточняется его тип и определяется типоразмер. Логические условия выбора типоразмера определяются предельными размерами обрабатываемой детали.

Для приспособления, представленного на фиг. 3:

$$\begin{aligned}\Phi(B_4) &= [(A > 80) \wedge (A < 150) \wedge (H < 40) \wedge (D < 50)], \\ \Phi(B_4) &= [(A > 150) \wedge (A < 250) \wedge (H < 60) \wedge (D < 70)].\end{aligned}\quad (2)$$

Этим выбрана типовая конструкция и ее базисная часть. Типовая конструкция определяет набор типов сменных элементов, из которых komponуются различные варианты наладочной части. Из набора типов сменных элементов по особенностям формы каждой конкретной детали производится выбор используемых (точка разветвления  $C_3$ ).

Для приспособления, представленного на фиг. 3:

$$\begin{aligned}\Phi(C_3^1) &= [d_1 = 0], \\ \Phi(C_3^2) &= [d_1 > 0], \\ \Phi(C_3^1) &= [H_{C_3^1} - H_{C_3^2} > 0], \\ \Phi(C_3^2) &= [H_{C_3^1} - H_{C_3^2} < 0].\end{aligned}\quad (3)$$

В точке разветвления  $C_4$  происходит выбор типоразмера сменных элементов - условия выбора которых представляются в виде т.н. расчетных формул. Расчетные формулы получаются в результате решения размерных цепей приспособления, включающих размеры базисной части, наладочной части и обрабатываемой детали.

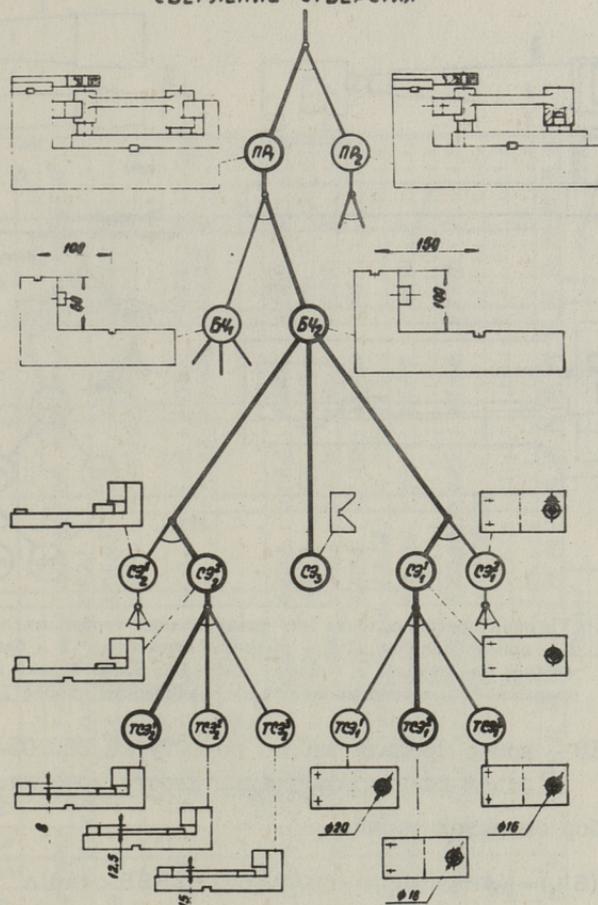
Для приспособления, представленного на фиг. 3:

$$\begin{aligned}\Phi(TC_3) &= [(KC_3 = 20340040) \wedge (d_{C_3} = d)], \\ \Phi(TC_3) &= [(KC_3 = 14104251) \wedge (L_{C_3} = A_{B_4} + A + \\ &+ \left| \frac{D - D_k}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right| - \frac{D_k}{2} - L_{B_4}) \wedge (H_{C_3^2} - H_{C_3^1} = H - h)],\end{aligned}\quad (4)$$

где  $KC_3$  - код сменных элементов, определяющих их тип.

На фиг. 4 приведена схема выбора приспособлений для операции "Сверление отверстия". Показана последовательность выбора элементов типовой конструкции, изображенной

## СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЯ



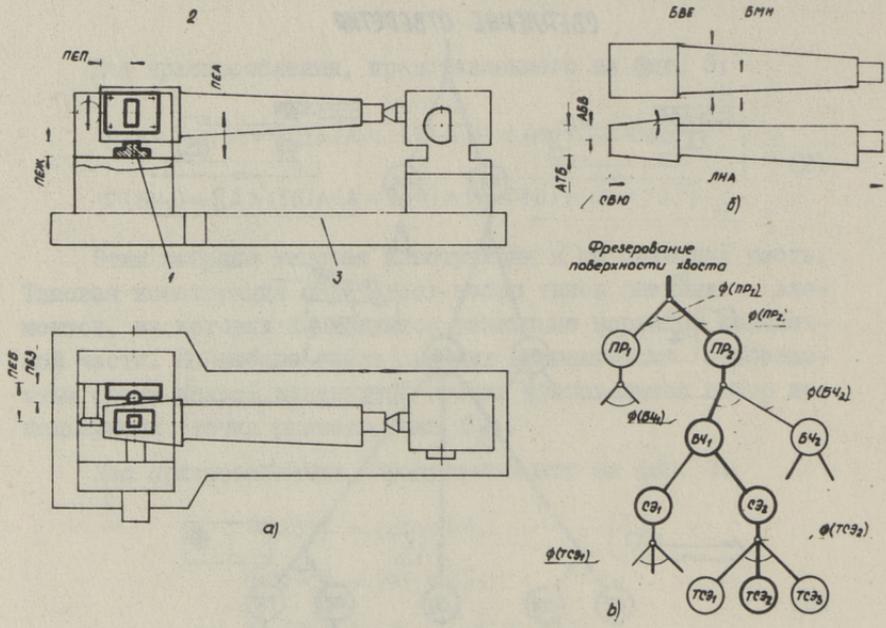
Фиг. 4. Схема выбора приспособлений для операции "Сверление отверстия".

на фиг. 3.

На фиг. 5 изображено типовое приспособление для фрезерования хвостовой части турбинных лопаток. Ниже приведены логические условия для его выбора.

Выбор типовой конструкции:

$$\Phi(\text{ПР}) = [(\text{КОД} = 361030) \wedge (\text{НПХВ} < 1140) \wedge (\text{НПХВ} > 1104) \wedge (\text{КБ} = 060040) \wedge (\text{КО} = 11122)], \quad (5)$$



Фиг. 5. Типовое приспособление для фрезерования турбинных лопаток: а - приспособление (1,2 - сменные элементы; 3 - базисная часть); б - деталь; в - схема выбора приспособлений для операции "фрезерование выходной поверхности хвоста".

где НПКВ - номер профиля хвоста по ОСТу 24.260.05-75, определяющий конфигурацию хвоста лопатки.

Выбор базисной части:

$$\begin{aligned}
 \Phi(BC_1) &= [(ЛНА < 600) \wedge (ЛИА > 180) \wedge (БВЕ < 140) \wedge \\
 &\quad \wedge (БВЕ > 60) \wedge (АТБ < 65) \wedge (АТБ > 20)], \\
 \Phi(BC_2) &= [(ЛНА < 1500) \wedge (ЛНА > 600) \wedge (БВЕ < 200) \wedge \\
 &\quad \wedge (БВЕ > 140) \wedge (АТБ < 100) \wedge (АТБ > 65)].
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Выбором данной типовой конструкции однозначно определились типы сменных элементов, и соответствующая точка разветвления на графе (фиг. 5,в) отсутствует.

Выбор типоразмера сменных элементов:

$$\Phi(TC_1) = [(КСЭ = 200002) \wedge (ПЕЖ = ПЕА + БМН)],$$



$$\Phi(TCЭ_2) = [(KCЭ = 001002) \wedge (ПЭЗ = ПЕБ + АБВ - \\ - ПЕП \cdot tg cБЮ)].$$

На кафедре технологии машиностроения Таллинского политехнического института разработан язык описания подобных обобщенных структур приспособлений. Пример описания алгоритма выбора приспособлений и их составных элементов для операции "Фрезерование выходной поверхности хвоста", приведен на фиг. 6.

На базе этого языка разработан интерпретатор для ЭВМ, что позволяет производить выбор типовых конструкций приспособлений и их составных элементов при оснащении операции в автоматизированной системе проектирования технологических процессов обработки турбинных лопаток.

#### Л и т е р а т у р а

И. Цветков В.Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов. М., "Машиностроение", 1972, с. 240.

З.К в т т н е р Р.А. Формальное описание структур обобщенных компоновок средств технологического оснащения. - "Труды Таллинского политехнического института", № 412, 1976, с. 25-36.

A. Tamm

#### The Description and Choice of Rigs in the Systems of Automatic Designing of Technological Processes

##### Summary

The problems of the description and choice of rigs and their components at the machine designing of technological processes are discussed. The structure of rigs is described, using theory of graphs. The conditions of the choice of rigs and their components are given.

УДК 658.512:621.9

Л. А. Портянский

### ДИАЛогоВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

При решении технологических задач на ЭВМ возникают различные ситуации, для решения которых требуется более тесное, чем при существующем в настоящее время пакетном режиме взаимодействие между пользователем и ЭВМ. Для этих целей необходимо использовать систему "человек-ЭВМ".

В этом случае могут существовать два режима обращения к ЭВМ - режимы "запрос-ответ" и "диалога". Первый режим обладает низким уровнем автоматизации решения и применим для проектирования, которое назовем "проектированием по аналогии". Суть его заключается в поиске описаний деталей аналогов и технологических процессов (ТП) их изготовления. На основе анализа полученного ТП определяется его пригодность и необходимость изменений, чтобы по этому ТП можно обработать заданную деталь. При этом предполагается наличие информационно-поисковой системы и языка поисковых предписаний, который является составной частью языка диалога. "Проектирование по аналогии" удобно применять при наличии большого числа унифицированных технологических процессов, когда объем изменений, при "адресации" детали к какому-либо процессу, относительно невелик.

Наиболее эффективной и обладающей более высоким уровнем автоматизации будет гибридная диалоговая система, когда запросы поступают как от человека, так и от ЭВМ.

Такая система должна отвечать следующим требованиям:

I. Обеспечение возможности промежуточного хранения информации и обращения к ней с целью последующего сравнения и многовариантного анализа.

2. Возможность непосредственного и оперативного обмена информацией.

3. Удобство при обмене информацией - наглядность, лаконизм и мощностъ языков, комфорт терминала.

4. Взаимопонимание и равноправие.

Выполнение этих требований создается разработкой диалоговой системы, выполняющей следующие функции.

1. Объяснение. Эта функция заключается в сообщении сведений информационно-пояснительного характера о возможностях работы системы, порядка работы. Одним из режимов "объяснения" является вывод комментариев об ошибочных операторах, используемых пользователем, а также обучение пользователя обращению с системой.

2. Трассировка. Пользователю выдается отображение его действий, например, движение в структуре массива данных или по "графу проектирования". Под последним понимается граф, содержащий последовательность выполненных этапов проектирования. Важность данной функции объясняется необходимостью варьирования параметрами технологического процесса и исходными данными с последующим просчетом по ним отдельных этапов. Причем варианты просчета сохраняются и расчет по временно отброшенному варианту может быть при неудовлетворительном результате текущего проектирования продолжен с тупиковой точки.

3. Объявление вывода. Пользователь должен иметь возможность указать формат, состав, объем, условия включения данных, а также устройство вывода. Эта функция может применяться также для вывода, промежуточных результатов в виде документов определенного вида на АЦПУ, хотя в архиве формы документа и именно такого набора параметров нет.

4. Руководство. Пользователю посылаются директивы, регламентирующие его действия. Одной из форм этой функции является использование метода "выбора меню", когда пользователю сообщается набор параметров, из которых должно выбираться определенное число для дальнейшего продолжения работы. Другой формой является метод "заполнения форм", когда указываются, например, имена переменных, значения которых необходимо присвоить пользователю.

5. Управление логикой. Пользователь имеет возможность менять логику решения задачи, указывая этапы, которые можно пропускать, или, начиная с которых, повторить решение с новыми исходными данными. Необходимость этой функции объясняется отсутствием в настоящее время четких формальных критериев принятия оптимального решения на промежуточных этапах технологического проектирования с точки зрения глобального оптимума.

6. Оценка. Пользователю представляется в распоряжение набор модулей, позволяющих оценить приближенно результаты на нескольких промежуточных этапах проектирования, то есть выбрать лучший вариант на данном этапе, хотя этот вариант может оказаться и не оптимальным в конечном этапе.

7. Изменение состояния. Эта функция обеспечивает варьирование параметрами технологического процесса, исходными данными.

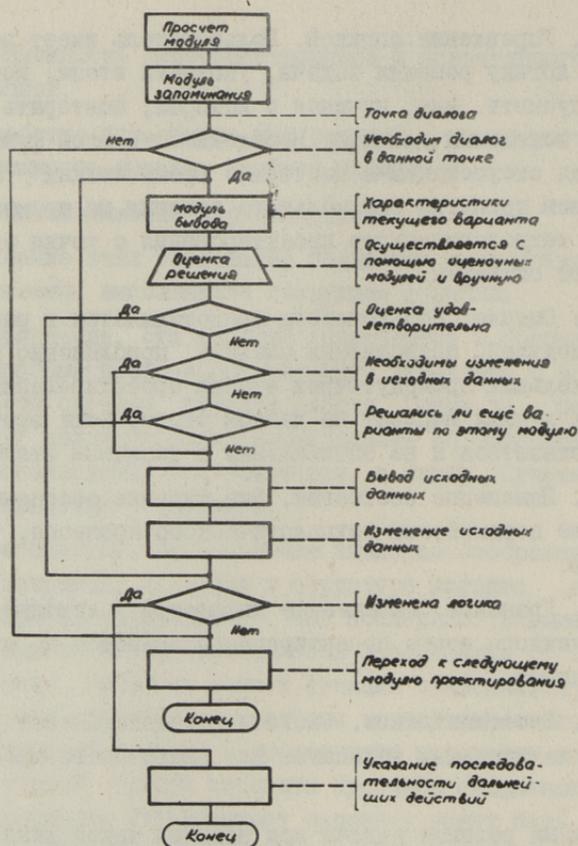
8. Хранение. Изменяемые параметры и исходные данные после каждого этапа проектирования хранятся в оперативной базе данных.

9. Восстановление. Система восстанавливает результаты одного из хранимых вариантов для дальнейшего проектирования.

Схема решения задачи при наличии такой диалоговой системы показана на фиг. 1.

Проектирование технологического процесса разбивается на этапы, просчет каждого этапа осуществляется определенным проблемным модулем. Последовательность просчета этапов задается ЭВМ с помощью графа нормального хода проектирования и при отсутствии указаний, изменяющих логику действий в режиме диалога, эта последовательность строго соблюдается. При поступлении таких указаний граф нормального хода проектирования временно игнорируется и последовательность соответствует указаниям об изменении логики действий.

После просчета каждого этапа в оперативную базу данных заносятся все промежуточные параметры технологического процесса, изменяемые на этом этапе. Оперативная база данных формируется только из статей промежуточных резуль-



Фиг. 1. Схема решения задачи в режиме диалога.

татов, причем имя каждой статьи содержит номер контрольной точки (после выполнения которой происходит изменение массива с данным именем) имя массива и номер варианта исходных данных, для которого данная контрольная точка пройдена.

Необходимость диалога определяется либо заказом на диалог (иницируется человеком), либо наличием альтернативных возможностей дальнейшего хода проектирования (диалог инициируется ЭВМ). Далее по указанию (запросу) пользователя производится выборка и обработка характеристик, нужных пользователю с последующим выводом этих характеристик из ЭВМ. Характеристики варианта подвергаются оценке (может быть машинной или экспертной), на основе которой либо ва-

риант признается удовлетворительным, либо требуется выборка и анализ новых характеристик варианта или уточнение старых с последующей оценкой этих характеристик, либо в исходные данные вносятся изменения и производится расчет нового варианта, либо требуется вывод характеристик другого варианта с последующей оценкой его и сравнением с новым вариантом и так далее. Для ограничения числа просчитываемых вариантов могут вводиться дополнительные сведения о некоторых желаемых характеристиках проектируемого процесса. Ими могут быть:

- величина партии запуска;
- параметры заготовки, которую необходимо использовать на данной операции;
- группы или модели средств технологического оснащения, которые необходимо использовать на той или иной операции;
- стороны обработки деталей на каждой операции;
- элементы деталей, которые должны обязательно обрабатываться на той или иной операции.

Необязательно, чтобы весь набор дополнительных данных был задан, однако, если то или иное ограничение записано, то оно обязательно для использования. Меняя дополнительные данные, можно проектировать различные варианты технологических процессов.

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность эксплуатации диалоговой системы является форма языка диалога. Язык диалога полностью зависит от содержания решаемых технологических задач.

В настоящее время для диалоговых систем используются следующие разновидности языков:

- естественный язык,
- формализованный язык,
  - а) близкий к естественному;
  - б) основанный на широком использовании мнемоники;
- операторный язык;
- язык программирования.

Естественный язык является слишком сложным, недоста-

точно формализованным, трудным для разработки программ-трансляторов и использования программными модулями. Поэтому при решении технологических задач, которые являются сложными творческими задачами, использование естественного языка не представляется возможным. Языки программирования в диалоговых системах применяются обычно для отладки программ, написанных на этих языках. В связи со спецификой технологических задач применение для диалога языков программирования практически отпадает, хотя элементы таких языков могут быть использованы в языках поискового предписания.

Формализованный язык близкий к естественному, основан на использовании терминов, недопускающих двоякое толкование, имеет простой синтаксис и упрощенные языковые конструкции. Удобством языка является простота и наглядность, а недостатком — необходимость ввода-вывода длинных слов естественного языка, что существенно увеличивает время запросов и ответов. Для ликвидации этого недостатка широко используются сокращения слов. Например, вместо слова ВАРИАНТ вводят лишь первые три символа: VAR. Сокращение естественных слов до мнемонических кодов и использование еще более простых конструкций позволяет повысить оперативность системы, но она становится более специализированной и требует высокой подготовки пользователей.

В некоторых языках используются операторы, аналогичные программным. Наиболее часто применяется оператор присваивания

$$X = x,$$

где  $X$  — наименование параметра (его мнемонический код);  
 $x$  — его значение.

Указанный оператор широко используется в тех случаях, когда применяется большое число параметров, но в каждой ситуации используется небольшое их количество.

Именно такая ситуация возникает при решении технологических задач. Используя строчную форму представления информации с переменной длиной строки, мнемонические коды и оператор присваивания, можно получать сообщения наименьшей длины, использовать принцип умолчания, когда при от-

существования значения или имени параметра он не вводится.

В структурном отношении язык диалога строится с учетом функционального назначения отдельных конструкций. Реализована двухуровневая структура языка. Верхний уровень — совокупность наборов операторов, где каждый набор имеет четкое функциональное назначение и смысл употребления. Внутри набора определен класс допустимых синтаксических конструкций, с помощью которых задается описание соответствующих действий и информации. Таким построением языка достигнута его расширяемость.

Использование диалоговой системы, выполняющей вышеописанные функции, с простым языком, основанном на широком применении мнемоники и операторов присваивания, позволит расширить область применения САПР и повысить роль технолога, оставляя на него наиболее важные и творческие макеты в решении технологических задач, и в конечном счете, повысить производительность труда технологов и качество проектируемых технологических процессов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Глушков В.М. Диалог с ЭВМ: возможности и перспективы. УСИМ, 1974, № 1.

2. Кузнецов И.П. Кибернетические диалоговые системы. М., "Наука", 1976.

3. E s k e l s o n, N. Forderungen an ein Dialogsystem. "Elektronische Rechenanlagen", 1971, 5.

L. Portyanski

A Dialogue System for Solving Some  
Technological Problems

Summary

The article is concerned with some points of building dialogue systems for solving technological problems. The functions performed by the system and the dialogue language are discussed here. This dialogue system is used for designing technological processes.

УДК 65.011.002.5:621.906

Ю. Ламп, Г. Некрасов

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАЗМЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ  
ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ В СИСТЕМАХ МАШИННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Создание системы автоматизированного проектирования технологических процессов (АПТП) связано с широким использованием методов описания геометрической и размерной информации деталей. Основные положения методики описания геометрической и размерной информации даны в [3], [5]. Для деталей более сложной конфигурации, а именно, турбинной лопатки, на базе этих методик разработан внутренний язык системы [2], [4], который позволяет производить разработку рациональных алгоритмов и программ.

Представление геометрической и размерной информации

Размерная и геометрическая информация детали, при использовании табличного входного языка, должна быть уложена в кодировочные таблицы. Карты кодирования разрабатываются на базе чертежей групповых представителей по следующему принципу:

- деталь привязывается к декартовой системе координат  $OXYZ$ ,

- деталь расчленяется на элементарные или типовые поверхности (т.н. элементарно-обрабатываемые поверхности ЭОП),

- каждый размер однозначно идентифицируется символьным обозначением, где

ЛХХ - линейный размер,

УХХ - угловой размер,



специальных программ происходит ввод данных кодирования, обработка их и преобразование этой информации в виде матриц номинальных значений конструкторских размеров для каждого из направлений декартовой системы координат и соответствующих матриц предельных отклонений (фиг. 1, в). Эти матрицы используются для выявления и расчета размерных цепей.

### Определение технологических размеров

Конструкторские размеры детали представляют некоторые пространственные размеры цепи. Так как с деталью связана координатная система  $OXYZ$ , то из этих пространственных размерных цепей можно выделить три линейные размерные цепи, связанные с соответствующими координатными осями. Для каждой размерной линейной цепи принимаем положительную ориентацию размеров в направлении координатных осей. Любую линейную размерную цепь можно представить в виде  $p^2$ -матрицы ( $p$ -число ЭОП детали)

$$A = \| A_{ik} \|,$$

где

$$A_{ik} = \begin{cases} 0 & , \text{ если } i = k, \\ A_{p_i p_k} & , \text{ если } p_i \text{ и } p_k \text{ имеют раз-} \\ & \text{мерную связь,} \\ \infty & , \text{ если } p_i \text{ и } p_k \text{ не имеют} \\ & \text{размерной связи,} \end{cases}$$

а  $A_{p_i p_k}$  - ориентированный размер между ЭОП  $p_i$  и ЭОП  $p_k$ , т.е.

$$A_{p_i p_k} = -A_{p_k p_i},$$

причем ориентация в матрице  $A$  принимается от строк к столбцам (фиг. 1, в, матрицы  $A_x, A_y$ ).

В ходе механической обработки деталей требуется перерасчет конструкторских размеров на технологические. Всякий такой перерасчет можно рассматривать как нахождение замыкающего звена размерной цепи по формуле

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^l A_i - \sum_{i=l+1}^{m-1} A_i, \quad (I)$$

где  $l$  - число увеличивающих составляющих звеньев размерной цепи;

$m$  - общее число звеньев размерной цепи.

По аналогии с обычным произведением матриц определяем для матриц  $A = \|A_{ik}\|$  и  $B = \|B_{ik}\|$ , т.н. обобщенное произведение

$$A \otimes B = \|C_{ik}\|,$$

где

$$C_{ik} = (A_{i1} \otimes B_{1k}) \oplus (A_{i2} \otimes B_{2k}) \oplus \dots \oplus (A_{in} \otimes B_{nk}), \quad (2)$$

а операции  $\oplus$  и  $\otimes$  понимаются как некоторые обобщенные понятия обыкновенных операций сложения и умножения действительных чисел, т.е. если  $a$  и  $b$  - действительные числа, то соответственно

$$a \oplus b = \min(a, b),$$

$$a \otimes b = a + b.$$

Тогда для (2) имеем:

$$C_{ik} = \min_{1 \leq j \leq n} (A_{ij} + B_{jk}).$$

Можно проверить, что при таком определении произведения матриц, элемент  $C_{ik}$  матрицы  $A^N$  дает размер  $A_{p_i p_k}$  по формуле (1), где

$$A^N = (\dots ((A \otimes A) \otimes A) \dots) \otimes A,$$

причем существует натуральное число  $N_0$ , для которого выполняется условие:

$$A^{N_0} = A^{N_0+1} = A^{N_0+2} = \dots$$

Таким образом, используя алгоритм обобщенного умножения матриц, возможно решение размерных цепей при машинном проектировании технологических процессов. Отметим, что такое обобщенное произведение матриц с неотрицательными элементами используется в теории графов (см. [1], с.150).

#### Нахождение предельных отклонений

Составной частью решения линейной размерной цепи является также определение предельных отклонений составляющих звеньев размерной цепи. Уравнения для определения предельных отклонений замыкающего размера имеют вид:

$$\Delta_{B_{A\Delta}} = \sum_{i=1}^l \Delta_{B_{A_i}} - \sum_{i=l+1}^{m-1} \Delta_{H_{A_i}}, \quad (3)$$

$$\Delta_{H_{A\Delta}} = \sum_{i=1}^l \Delta_{H_{A_i}} - \sum_{i=l+1}^{m-1} \Delta_{B_{A_i}},$$

$\Delta_{B_{A\Delta}}, \Delta_{H_{A\Delta}}$  — соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена размерной цепи;

$\Delta_{B_{A_i}}, \Delta_{H_{A_i}}$  — соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи;

$l, m$  — соответственно число увеличивающих составляющих звеньев и общее число звеньев размерной цепи.

Нас интересуют предельные отклонения найденных технологических размеров матрицы  $A^N = \|C_{ik}\|$ . Учитывая приведенные выше формулы (3) определения предельных отклонений замыкающего звена, представим матрицу предельных отклонений в виде:

$$\Delta = \|\Delta_{ik}\|,$$

где

$$\Delta_{ik} = \begin{cases} 0 & , \text{ если } i = k, \\ \Delta_{B_{A_{ik}}} & , \text{ если } A_{ik} > 0, \\ -\Delta_{H_{A_{ik}}} & , \text{ если } A_{ik} < 0, \\ \infty & , \text{ если } A_{ik} = \infty, \end{cases}$$

а  $A = \|A_{ik}\|$  — матрица конструкторских размеров.

Тогда матрица  $\Delta^{N_0} = \|\Delta_{C_{ik}}\|$  определяет предельные отклонения технологических размеров соответствующей матрицы технологических размеров  $A^{N_0} = \|C_{ik}\|$ ,

где

$$\Delta_{B_{C_{ik}}} = \begin{cases} \Delta_{C_{ik}} & , \text{ если } C_{ik} > 0, \\ \Delta_{C_{ki}} & , \text{ если } C_{ik} < 0, \end{cases}$$

$$\Delta_{H_{C_{ik}}} = \begin{cases} -\Delta_{C_{ki}} & , \text{ если } C_{ik} > 0, \\ -\Delta_{C_{ik}} & , \text{ если } C_{ik} < 0. \end{cases}$$

#### Расчет и выдача операционных размеров

Расчет и выдача операционных размеров происходит от готовой детали (данных конструкторского чертежа) к заго-

товке. На каждой проектной операции механической обработки:

- выдаются требуемые размеры,
- происходит изменение геометрической и размерной информации.

Выдача операционных размеров в системе машинного проектирования технологических процессов составляется по заказу:

$$A_{ik} = f(S, p_i, p_k, n),$$

где  $S$  - символьное обозначение размера;  
 $p_i, p_k$  - ЭОП, между которыми требуется найти размер  $A_{ik}$ ;  
 $n$  - код направления размера.

Ввод изменений в информационные массивы геометрической и размерной информации осуществляется по заказу:

$$\text{ИЗМ} = f(p_i, z_{p_i}, n_{z_{p_i}}, \text{КОД}),$$

где  $z_{p_i}, n_{z_{p_i}}$  - соответственно припуск поверхности  $p_i$  и код направления припуска;  
 $\text{КОД}$  - описывает изменение геометрии детали, т.е.:

- $\text{КОД} = +3$  - изменение формы ЭОП  $p_i$ ,
- $\text{КОД} = +Y(+B)$  - удаление (добавление) ЭОП  $p_i$  (т.е. видоизменение детали в ходе механической обработки, вызывающее исчезновение (добавление) ЭОП  $p_i$  и размеров в матрицах  $A^N = \|C_{ik}\|$  и  $\Delta^N = \|\Delta_{c_{ik}}\|$ .

Данная методика расчета операционных и технологических размерных цепей реализована в виде алгоритмов и программ (на алгоритмическом языке FORTRAN) для систем автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей на ЭВМ "Минск-32".

#### Л и т е р а т у р а

И. Б е р ж К. Теория графов и ее применение. М., 1962. "Иностранная литература", 1962, с. 319.

2. Вялло А.А., Киммель А.А., Кюттнер Р.А., Месила Р.А., Папстел Ю.В., Щеглов Н.Н. Механизация и автоматизация технологической подготовки производства. Таллин, "Бит", 1976, с. 129.

3. Горанский Г.К. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении. М., "Машиностроение", 1976, с. 234.

4. Киммель А.А., Кюттнер Р.А., Некрасов Г.И., Писаренко В.С. О кодировании геометрической и размерной информации подготовки производства в машиностроении с помощью ЭВМ. Киев-Донецк, "Вища школа", 1976, с. 248.

5. Цветков В.Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов. М., "Машиностроение", 1972, с. 240.

J. Lamp, G. Nekrassov

Representing and Handling of the Machine Parts  
Dimensional Data in the Systems of Computer Aided  
Manufacturing Technology Design

Summary

In the article matters of machine parts dimensional data representing and transforming them into matrix form in the systems of computer aided manufacturing technology design are discussed. The matrix form of the information representation is used for analyzing the operation and technologic dimensional chains. Methods of the dimensional chains analyzing are realized in form of algorithms and routines for the computer "Minsk 32" and the algorithmic language FORTRAN is used.



УДК 621.90.002-529

Ю.Э.Рийвес

### ВЫБОР ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Рациональный подбор номенклатуры деталей, предназначенных для обработки на станках с числовым программным управлением, создает предпосылки для получения наибольшего экономического эффекта от внедрения этих станков.

Выбор целесообразных деталей для их обработки на станках с ЧПУ можно разделить на три этапа:

1. Исключение при помощи ограничений деталей, обработка которых на станках с ЧПУ нецелесообразна. В качестве ограничений можно использовать критерии I-6, приведенные в табл. I.

2. Выбор деталей на основе установленных критериев 7-10 (табл. I).

3. Распределение деталей между станками на основе величин II-14 (табл. I).

Т а б л и ц а I  
Критерии выбора деталей и распределения их между станками

№ п.п.	Наименование
1.	Трудоемкость операции, T (по существующей технологии).
2.	Число деталей в партии, n.
3.	Повторяемость партии деталей, П.
4.	Вид заготовки по ОКП и неравномерность припуска у партии, Z.
5.	Подготовительно-заключительное время, T <sub>пз</sub> (по существующей технологии).
6.	Организационные возможности.
7.	Число обрабатываемых поверхностей или максимальное число переходов предварительной обработки.

№ п.п.	Наименование
-----------	--------------

8. Число точно обрабатываемых поверхностей (качества 6-9).
9. Класс шероховатости обрабатываемых поверхностей.
10. Геометрическая форма детали (наличие ступеней, фасонных или конических поверхностей, резьбовых поверхностей, пазов).
11. Размерная характеристика детали ( L или H, B или d, D ) по ОКП.
12. Вес детали по ОКП, G.
13. Вид детали по ОКП.
14. Число используемых инструментов на операцию, И.

Для выбора деталей существенными компонентами являются основное и вспомогательное время. Оценку сравнительной производительности станков с ЧПУ и обычным оборудованием показывает относительное изменение основного и вспомогательного времени.

Обозначим:

$$K_0 = \frac{t_{0чпу}}{t_{0ру}} \quad \text{и} \quad K_B = \frac{t_{вчпу}}{t_{вру}},$$

где  $K_0, K_B$  - соответственно относительное изменение основного и вспомогательного времени;

$t_{0чпу}, t_{0ру}$  - основное время обработки детали соответственно на станках с ЧПУ и на обычном оборудовании;

$t_{вчпу}, t_{вру}$  - вспомогательное время обработки детали соответственно на станках с ЧПУ и на обычном оборудовании.

В таблице 2 в качестве примера приведен сравнительный анализ значимости основного и вспомогательного времени при обработке деталей на обычном оборудовании и на станках с ЧПУ. Детали, для которых сделан анализ, приведены на фиг. 1 и 2.

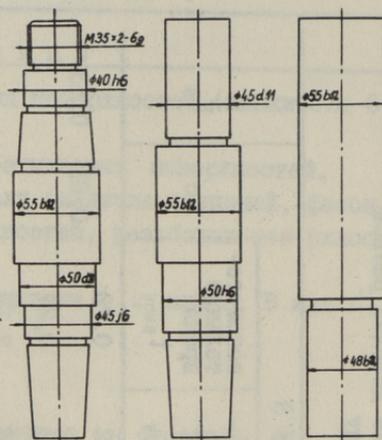
Данные в таблице 2 показывают, что уменьшение вспомогательного времени значительно выше по сравнению с основным временем. Относительное уменьшение вспомогательного времени

Изменение основного и вспомогательного времени при обработке деталей разной конфигурации на обычном оборудовании и на станках с ЧПУ

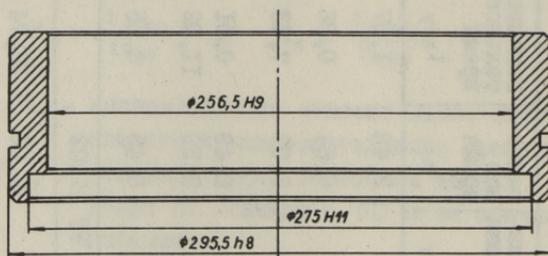
Оборудование		I K62			I6 K 20 B 3			K <sub>0</sub>	K <sub>B</sub>
		оперативное время t <sub>опр</sub>	основное время t <sub>осн</sub>	вспомогательное время t <sub>всп</sub>	оперативное время t <sub>опчп</sub>	основное время t <sub>оснчп</sub>	вспомогательное время t <sub>вспчп</sub>		
1.	мин.	3,85	2,48	1,37	2,75	2,02	0,73	0,81	0,53
	относ. единицы	I	0,64	0,36	I	0,73	0,27		
	мин.	14,35	6,92	7,43	8,43	5,24	3,19		
2.	относ. единицы	I	0,49	0,51	I	0,62	0,38	0,75	0,43
	мин.	21,51	9,59	11,92	11,05	7,02	4,03		
3.	относ. единицы	I	0,45	0,55	I	0,64	0,36	0,73	0,36
оборудование		PT 21003			SKJ-10A-NC			K <sub>0</sub>	K <sub>B</sub>
4.	мин.	32,94	16,20	16,74	20,99	13,73	7,26	0,85	0,43
	относ. единицы	I	0,49	0,51	I	0,65	0,35		

при обработке деталей на станках с ЧПУ по сравнению с обычным оборудованием в значительной степени зависит от сложности обрабатываемых деталей (фиг. 3).

Из вышеуказанного следует, что одним из основных критериев выбора деталей для станков с ЧПУ является вспомогательное время. Исходя из этого окончательный выбор деталей производится на основе установленных критериев 7-10 (табл. I). Каждому из этих критериев назначаются разные единицы путем сравнения вспомогательного времени обработки деталей на станке с ЧПУ и на обычном оборудовании [2].



Фиг. 1. Примеры деталей, обрабатываемых на станке 16K20Ф3.

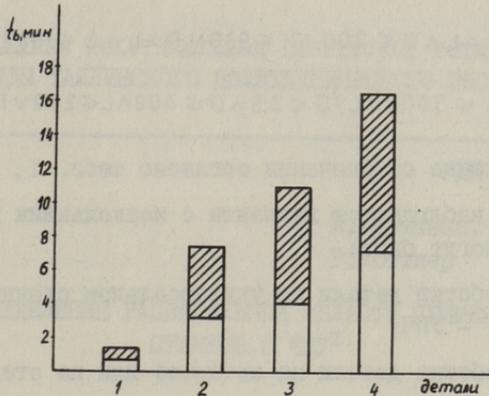


Фиг. 2. Пример детали, обрабатываемой на станке 5К2-10А-НС.

При распределении множества деталей между станками учитываются следующие альтернативы типов станков - автоматы, универсальные станки и станки с ЧПУ.

Обозначим множество деталей, которые целесообразно обрабатывать на автоматах - А, на универсальных станках - У и на станках с ЧПУ - Ч.

На фиг. 4 изображено схематично распределение множества обрабатываемых деталей между этими типами оборудования.



Фиг. 3. Относительное уменьшение вспомогательного времени.

Предполагаем, как пример, следующие три множества станков на предприятии:

1. Множество автоматов  
 { I Д II2, I А225-6 };

2. Множество универсальных станков

{ I К62, I5I0, I Н3I8 };

3. Множество станков с ЧПУ

{ I6K20Ф3, SKJ-10A-NC, II732Ф3 }.

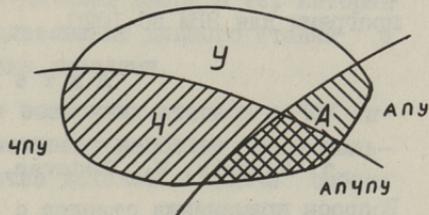
Тогда принадлежность деталей к разным подмножествам А, У и Ч определяется логическими выражениями:

$$\Phi(A) = D/L \leq 1,5 \wedge D \leq 12 \wedge L \leq 60 \wedge \text{И} \leq 9 \vee D/L \leq 1,5 \wedge$$

$$\wedge D \leq 25 \wedge L \leq 150 \wedge \text{И} \leq 6 \wedge n > 250,$$

$$\Phi(Y) = D < L \wedge D \leq 220 \wedge L \leq 1000 \vee D > L \wedge D \leq 1000 \wedge$$

$$\wedge L \leq 800 \vee L/D \leq 2,5 \wedge D \leq 130 \wedge L \leq 160,$$



Фиг. 4. Возможное распределение деталей между станками: А - автоматы, У - универсальные станки, Ч - станки с ЧПУ.

$$\Phi(\chi) = D < L \wedge D \leq 200 \wedge L \leq 930 \vee D > L \wedge D \leq 1000 \wedge L \leq 850 \wedge$$

$$\wedge G \leq 3000 \vee L/D \leq 2,5 \wedge D \leq 400 \wedge L \leq 250 \vee 10 \leq \Pi \leq 250.$$

Применяемые обозначения согласно табл. I.

Обычно наблюдаются варианты с несколькими возможностями. Такими могут быть:

1. Обработка детали на универсальном станке или на станке с ЧПУ - УПЧ;
2. Обработка детали на автомате или на станке с ЧПУ - АПЧ.

Предложенная методика предусмотрена для предварительного определения области применения станков с ЧПУ для обработки заданного множества деталей и реализована в виде программ для ЭВМ ЕС 1020.

#### Л и т е р а т у р а

1. Kunerth, W., Ledever, K.G., Lienart, J.

Вопросы применения станков с ЧПУ. Экспресс-информация. "Автоматические линии и металлорежущие станки", № 32, 1976, с. 6-13.

2. Хартманн Й., Кюттнер Р. Определение рациональной области применения станков с ЧПУ. См. наст. сб., с. 53.

J. Riives

#### Selecting the Work for NC Machine-Tools

#### Summary

The paper deals with constituting the criteria for selecting the work for NC machine-tools.

Comparative analysis for the ratio of machine time and auxiliary time in the case of machining various machine parts on ordinary and NC machine-tools is given. On the base of the obtained data it follows that one of the main criteria is the auxiliary time, which characterizes the complexity of machining.

УДК 621.9.06-529

Й.Хартманн, ТУ г.Дрезден  
Р.Кюттнер

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
СТАНКОВ С ЧПУ<sup>х</sup>

Под задачей определения рациональной области применения станков с ЧПУ в данном случае понимаются следующие задачи:

1. Из заданного множества деталей выбрать те, которые обеспечивают рациональное использование данного станка с ЧПУ – задача комплектации станка деталями.

2. Из заданного множества возможных станков с ЧПУ определить станки, которые обеспечивают наиболее рациональную обработку заданного множества деталей – задача выбора станков.

В обоих случаях имеем множество альтернативных решений  $A = \{A_i | i = 1, n\}$ , которыми в одном случае являются станки, а в другом – детали. Методика решения обеих задач одинакова, поэтому в дальнейшем рассмотрим лишь задачу комплектации станка деталями.

Каждому оборудованию характерна определенная область его применимости, которая задается ограничениями (размерные характеристики оборудования, технологические возможности, предельные точностные характеристики и др.) на множестве альтернативных решений  $\Phi_i(X)$ , где  $X$  – конструкторско-технологические характеристики деталей и его производства и  $\Phi_i(X)$  – логическое выражение ограничения для  $i$ -го оборудования. Примером логического выражения может являться ограничение на обработку деталей на станке I6K20Ф3:

<sup>х</sup> В статье приведены результаты работы, выполненной во время 10-месячной стажировки в ТУ Дрездена, ГДР.

$$\Phi_{16K20F3}(X) = (D \leq 400 \wedge \frac{L}{D} \leq 2 \vee D \leq 200 \wedge L_{08} \leq 930) \wedge (5 \leq n \leq 100).$$

где  $D$  - наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм;

$L$  - общая длина детали, мм;

$L_{08}$  - наибольшая длина точения, мм;

$n$  - партия запуска, шт.

Задача комплектации станка деталями решается обычно не для одного станка, а для их групп. Ограничение области применимости для группы станков определяется в виде

$$\Phi_{2p}(X) = \Phi_{05_1}(X) \cup \Phi_{05_2}(X) \cup \dots \cup \Phi_{05_m}(X).$$

Проверкой исходного множества деталей на выполнение ограничений  $\Phi_{2p}(A)$  определяется множеством деталей

$$A = \{A_i(X) | \Phi_{2p}(X)\},$$

обрабатываемых технически и организационно на данной группе станков.

Следующей задачей является построение некоторой оценочной функции  $\mu(A_i)$  для каждой детали  $A_i \in A$ , позволяющей без подробной разработки технологических процессов с достаточной уверенностью определить наилучшую комплектацию данной группы оборудования деталями.

В работе Й.Хартманна и Е.Вильде [1] все детали, подлежащие обработке, оцениваются по следующим критериям:

а - показатель геометрической конфигурации детали;

в - показатель требуемого качества поверхностей;

с - показатель точности обработки.

Деталь целесообразно обрабатывать на станках с ЧПУ, если показатель сложности деталей

$$\mu(A) = \sum_{j=1}^n (a_j + b_j + c_j)$$

больше предельной сложности детали  $KGGR$ , т.е. деталь целесообразно обрабатывать на станке с ЧПУ, если для детали

$\mu(A_i) \geq KGGR$ , где суммирование по  $j$  происходит по всем поверхностям основного контура детали.

В работе [1] установлено, что  $45 \leq KGGR \leq 48$ , где интервал от 45 до 48 является т.н. "интервалом неопределенности". Каждый из показателей  $a_j$ ,  $b_j$  и  $c_j$  определяется по установленным заранее кодовым таблицам, при этом значения этих показателей характеризуют в какой-то мере эффек-

тивность обработки этой поверхности на станке с ЧПУ по сравнению с обычным станком и получаются путем сравнения вспомогательных времен обработки на этих станках [1].

Анализ применения данной процедуры оценивания на различных деталях показал необходимость дальнейшего взвешивания этих показателей.

Были предложены следующие линейные разделяющие функции множеств деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ и на обычных станках (KV):

$$d_{NC} = p'_0 + p'_1 a + p'_2 b + p'_3 c,$$

$$d_{KV} = p''_0 + p''_1 a + p''_2 b + p''_3 c.$$

Для оценки весов  $p'_i, p''_i; i = 0, 1, 2, 3$  предложено применять методы распознавания образов, в данном случае построения линейного Байес-классификатора [2].

В работе [1] показано, что показатели  $a, b$  и  $c$  распределены приблизительно нормально и что нет оснований различения ковариационных матриц показателей для станков с ЧПУ и обычных станков.

В этом случае можно параметры  $p_i$  функции  $d_{NC}(X)$  и  $d_{KV}(X)$  оценивать по выражению [2]:

$$d_k(X) = \ln P(k) + \frac{1}{2} \mu'_k \sum^{-1} \mu_k + x \sum^{-1} \mu_k,$$

где  $P(k)$  - априорная вероятность обработки деталей на станках с ЧПУ или на обычных станках  $k = NC$  или  $k = KV$ ;

$\mu_k$  - вектор средних показателей  $a, b$  и  $c$  в обучающей выборке;

$\sum^{-1}$  - обратная ковариационная матрица от этих показателей в обучающей выборке;

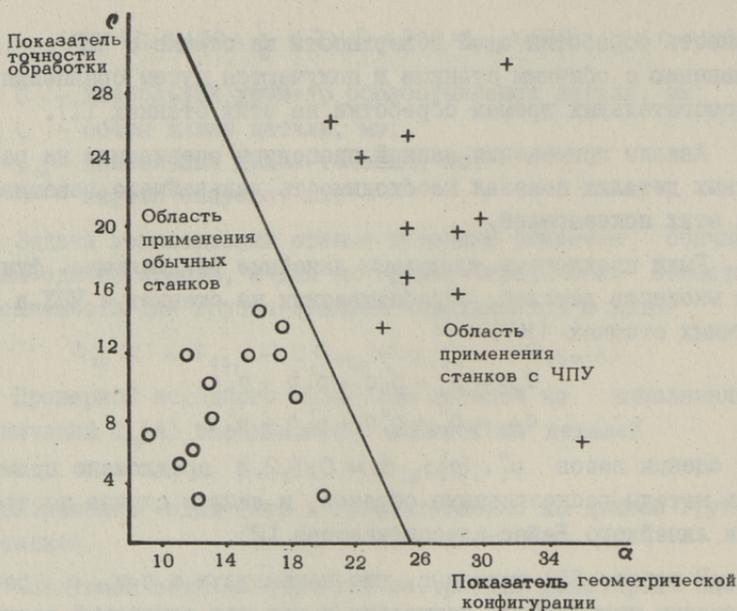
$x$  - вектор вида  $x' = (a, b, c)$ ;

$x'$  - обозначает транспонирование вектора  $x$ .

Авторами разработана для ЭВМ KRS - 4200 программа, которая в режиме диалога допускает разработку разделяющих функций для различных комбинаций исходных данных.

Критерием целесообразности обработки деталей на станках с ЧПУ является разность

$$\mu(A) = d_{NC}(X) - d_{KV}(X).$$



Фиг. 1. Построение разделяющей функции.

Детали целесообразно обрабатывать на станках с ЧПУ, если эта разность положительная. В результате анализа было получено следующее условие целесообразности обработки деталей на станках с ЧПУ

$$\sum_{j=1}^f (1,058 a_j + 0,115 b_j + 0,43 c_j) \geq 26,808.$$

Пример построения критериев показан на фиг. 1.

Полученные дополнительные веса хорошо согласуются с теоретическими предположениями.

Но необходимо учитывать, что полученные веса и определенный порог 26,808 зависят от уровня развития станков с ЧПУ и организационных и технологических условий их применения.

#### Л и т е р а т у р а

1. H a r t m a n n, J., W i l d e, E. Methode Grenzkomp-lizierheit. Fertigungstechnik und Betrieb 24 (1974), H.II s. 653-655.

2. S t e i n h a g e n, H.-E., F u c h s, S. Objekter-kennung. VEB Verlag Technik, Berlin, 1976, s. 436.

R. Küttner, J. Hartmann

Ermittlung des rationellen Anwendungsbereichs für die NC-Maschinen

Zusammenfassung

Auf der Basis des Kompliziertheitsgrades wird eine Methode und eine Berechnungsvorschrift der Werkstückzuordnung zu den NC-Maschinen vorgestellt. Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen werden mitgeteilt.

## С о д е р ж а н и е

1. Р.А.Кюттнер, Э.В. Юрвес. Оптимальный выбор режущих и вспомогательных инструментов в системах машинного проектирования технологических процессов. . . . . 3
2. Р.А.Кюттнер, В.В.Степанов. Подготовка алгоритмов и базы данных построения технологических маршрутов обработки деталей. . . . . 13
3. А.Л.Тамм. Описание и выбор приспособлений в системах автоматизированного проектирования технологических процессов. . . . . 23
4. Л.А.Портянский. Диалоговая система для решения технологических задач. . . . . 31
5. Ю.В.Ламп, Г.Н.Некрасов. Представление и обработка размерной информации для деталей машиностроения в системах машинного проектирования технологических процессов. . . . . 39
6. Ю.Э.Рийвес. Выбор деталей для станков с ЧПУ 47
7. Й.Хартманн, Р.Кюттнер. Определение рациональной области применения станков с ЧПУ. . . . . 54



ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Труды ТПИ № 454  
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
Сборник статей по машиностроению ХУ1  
Редактор В. Рээдик, техн. редактор В. Ранник  
Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 7 апреля 1978 г.

Подписано к печати 14 июня 1978 г. Бумага 60x90/16  
Печ. л. 3,75+0,25 приложение. Уч.-изд. л. 3,1.  
Тираж 300. МВ-06247  
Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9. Зак. № 611  
Цена 50 коп.

© ТПИ, Таллин, 1978





Цена 50 коп.