

Ep. 6.7

d

**681**

ISSN 0136-3549

0320-3344

**TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI**

# **TOIMETISED**

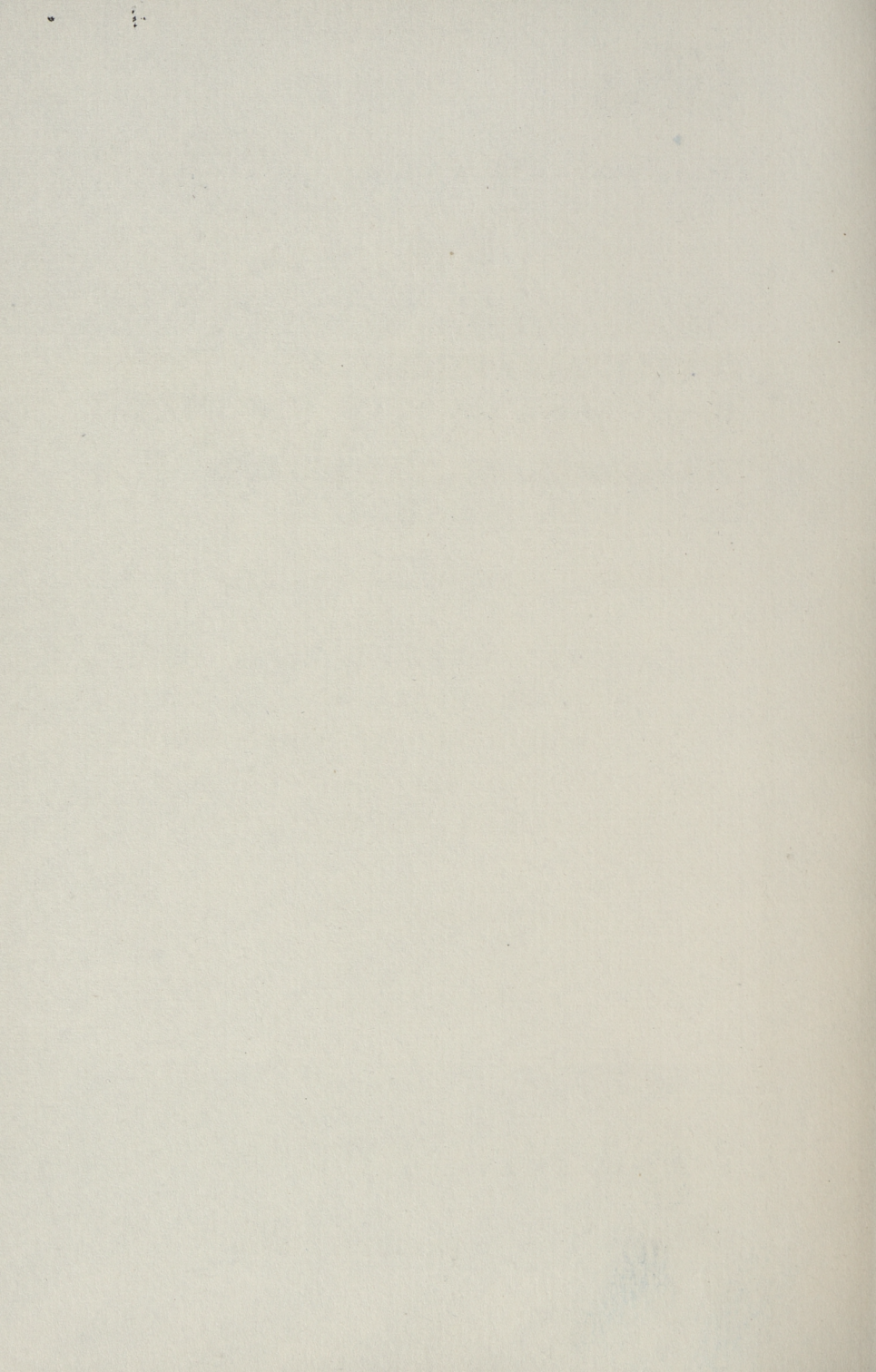
**ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

**TRANSACTIONS OF TALLINN  
TECHNICAL UNIVERSITY**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**



**TALLINN 1988**



Ep. 6.7

681

ALUSTATUD 1937

TALLINNA POLÜTEHNILISE  
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

TRANSACTIONS OF TALLINN  
TECHNICAL UNIVERSITY

UDK 681.3+658.512.621.9

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Машиностроение XXVII

TALLINN 1988

ALUSTATUD 1987

681

TALLINNA POLITEHNILINE  
INSTITUUDI TOimetised

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

TRANSACTIONS OF TALLINN  
TECHNICAL UNIVERSITY

УДК 681.3+688.812.621.9

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Труды ТПИ № 681

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
Машиностроение XXU11

На русском языке

Отв. редактор Г. Гроссшмидт

Техн. редактор В. Ранник

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 14.12.88

Подписано к печати 19.01.89

МВ-00800

Формат 60x90/16

Печ. л. 4,5 + 0,25 приложение

Уч.-изд. л. 3,8

Тираж 300

Зак. № 50

Цена 75 коп.

Таллинский политехнический институт,

200108, Таллин, Эхитаяте тее, 5

Ротапринт ТПИ, 200006, Таллин, ул. Коскла, 2/9



Таллинский политехнический институт, 1988

TALLINN 1988

ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Проектирование производственных процессов изготовления деталей в гибких производственных системах (ГПС) является сложной, многовариантной задачей, которую необходимо решать в комплексе с задачами других систем технологической подготовки и управления производством. Каждый этап технологического проектирования, т.е. проектирование элементарного инструментального перехода, позиционного перехода, операционной, маршрутной технологии или производственного процесса изготовления заданных деталей имеет свое влияние на экономию изготовления машиностроительных изделий. Перечисленные задачи являются различными по степени абстрагирования, обобщения и сложности. Решение их требует учета исходной информации (технологические возможности оборудования) и производственных условий (принцип транспортирования, принцип складирования, связь станков с ЧПУ с центральным складом и т.д.) самого различного объема и характера (рис. 1). Количество уровней проектирования и их содержание зависит от сложности решаемой задачи технологического проектирования. Обобщая особенности проектирования производственных процессов для ГПС, считаем целесообразным процесс проектирования представить в виде многоуровневой схемы принятия решений (рис. 2), состоящей из четырех основных блоков.

Верхний уровень предназначен для обучения и обобщения опыта работы ГПС, а также для представления и постоянной адаптации моделей ГПС к конкретным условиям производства. Второй уровень является необходимым для предварительного селектирования деталей и формирования групп обрабатываемых деталей для планового периода времени. Основной функцией

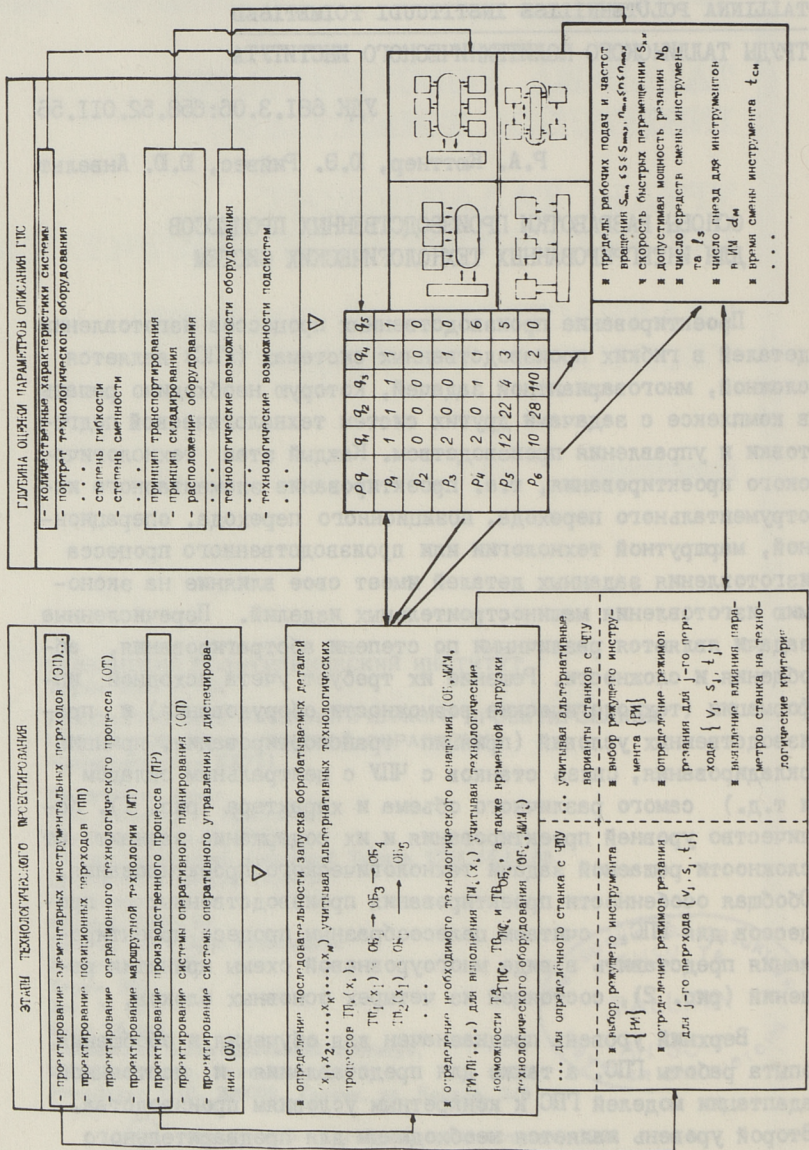


Рис. 1. Этапы технологического проектирования и их взаимосвязь с глубиной детализации ГПС.

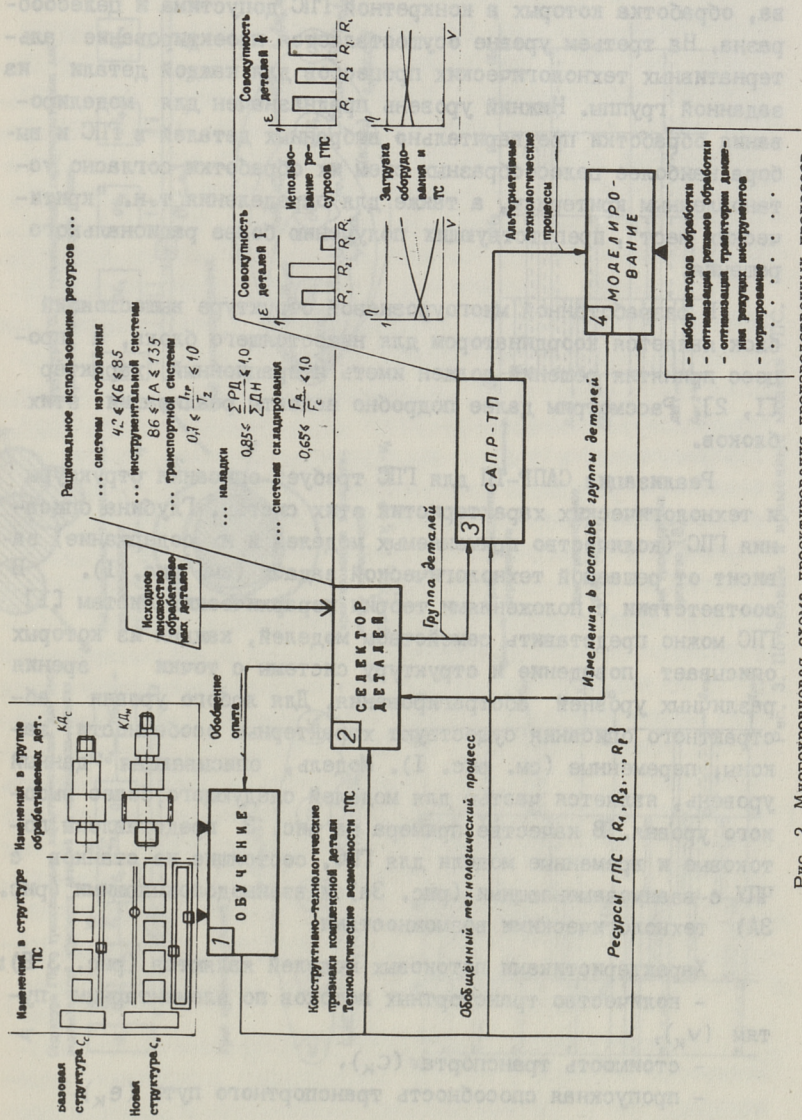


Рис. 2. Многоуровневая схема проектирования производственных процессов.

данного уровня является подбор деталей из исходного множества, обработка которых в конкретной ГПС допустима и целесообразна. На третьем уровне осуществляется проектирование альтернативных технологических процессов для каждой детали из заданной группы. Нижний уровень предназначен для моделирования обработки предварительно выбранных деталей в ГПС и выбора наиболее целесообразных схем их обработки согласно установленным критериям, а также для определения т.н. "критических мест", препятствующих получению более рационального решения.

В разработанной многоуровневой структуре вышестоящий блок является координатором для нижестоящего блока, а процесс принятия решений должен иметь итерационный характер [1, 2]. Рассмотрим далее подробно аспекты реализации этих блоков.

Реализация САПР-ТП для ГПС требует описания структуры и технологических характеристик этих систем. Глубина описания ГПС (количество применяемых моделей и их содержание) зависит от решаемой технологической задачи (см. рис. 1). В соответствии с положениями теории иерархических систем [1] ГПС можно представить семейством моделей, каждая из которых описывает поведение и структуру системы с точки зрения различных уровней абстрагирования. Для любого уровня абстрактного описания существуют характерные особенности, законы, переменные (см. рис. 1). Модель, описывающая данный уровень, является частью для моделей следующего, более высокого уровня. В качестве примера на рис. 3 представлены потоковые и временные модели для ГПС, состоящие из станков с ЧПУ с взаимозаменяемыми (рис. 3а) и взаимодополняющими (рис. 3б) технологическими возможностями.

Характеристиками потоковых моделей являются (рис. 3 В):

- количество транспортных потоков по элементарным путям ( $v_k$ ),

- стоимость транспорта ( $c_k$ ),

- пропускная способность транспортного пути ( $e_k$ ).

Характеристиками временных моделей являются (рис. 3б):

- время транспортирования ( $t_{тр}$ ),

- время передачи ( $t_{пер}$ ),



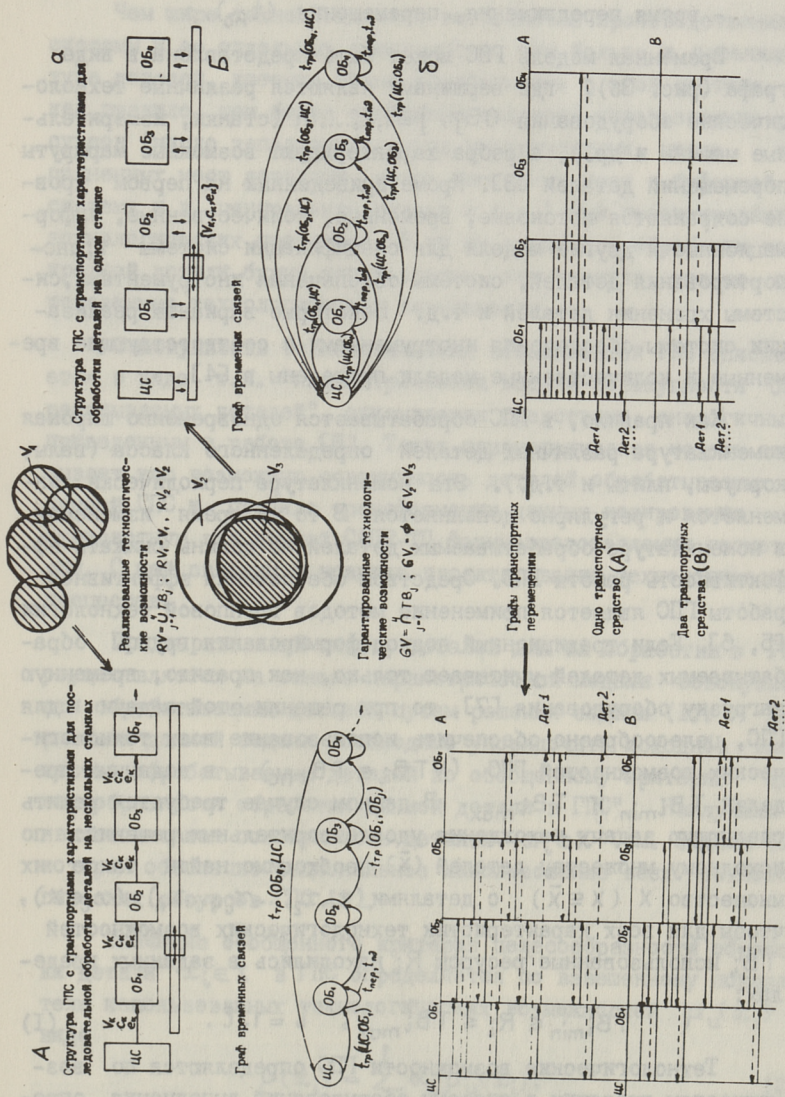


Рис. 3. Потокные и временные модели ППС.

- время передвижения, перемещения ( $t_{pd}$ ).

Временная модель ГПС может быть представлена в виде графа (рис. 3б), где вершинами являются различные технологические оборудования  $OB_j$ ,  $j=1,2,\dots,m$  (станки, измерительные машины и др.), а ребра характеризуют возможные маршруты перемещений деталей [3]. Кроме приведенных на первом уровне сохраняются потоковые, временные, количественные, информационные и другие модели для спецификации системы транспортирования деталей, системы обеспечения инструментами, системы хранения деталей и т.д. Некоторые варианты реализации системы обеспечения инструментами и соответствующие временные и количественные модели приведены в [4].

Как правило, в ГПС обрабатывается одновременно широкая номенклатура различных деталей определенного класса (валы, корпуса, плиты и т.д.). Эта номенклатура периодически изменяется и регулярно дополняется. В то же время изменения в номенклатуре обрабатываемых деталей не должны снижать эффективность работы ГПС. Средством обеспечения эффективной работы ГПС является применение методов групповой технологии [5, 6]. Если традиционный подход формирования группы обрабатываемых деталей учитывает только, как правило, временную загрузку оборудования [7], то при решении этой задачи для ГПС, целесообразно обеспечить использование всех технологических возможностей ГПС ( $\forall TB_i \in TB_{ГПС}$ ) в заданных пределах  $TB_{i_{min}}$  и  $TB_{i_{max}}$ . В данном случае требуется решить следующую задачу нахождения удовлетворительных решений: по исходному множеству деталей ( $\bar{X}$ ) необходимо найти такое их множество  $X$  ( $X \in \bar{X}$ ) с деталями  $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$  ( $x_i \in X$ ), чтобы для всех характеристик технологических возможностей  $TB_i$  использованные ресурсы  $R_i$  находились в заданных пределах:

$$TB_{i_{min}} \leq R_i \leq TB_{i_{max}}, \quad i = 1, \ell. \quad (I)$$

Технологические возможности ГПС определяются по возможностям входящих в систему оборудования выполнения определенных работ. Технологические возможности отдельного оборудования определяются возможностями обработки на заданном оборудовании отдельных поверхностей на основе геометрических, размерных, точностных и др. характеристик этих поверхностей.

Чем шире технологические возможности производственной системы и ее отдельных компонентов, тем больше и номенклатура деталей, которые можно обрабатывать в этой системе, и как правило, тем более свободным является использование ресурсов (число заполненных гнезд инструментами, число заполненных мест деталям, число свободных мест в буферной системе и в центральном складе и т.д.) при проектировании технологических процессов. В то же время для обработки конкретной детали будут использованы, как правило, только определенные технологические возможности.

Совокупность технологических возможностей ГПС описывается в виде т.н. "параметрической модели совокупности обрабатываемых деталей", описываемая средствами, аналогичными приведенным в работе [8]. Такая параметрическая модель описывает всю возможную совокупность деталей обрабатываемых в данной ГПС и правила трансформации данных кодирования в стандартную для данной САПР-ТП форму представления геометрии. С ней связаны и правила проектирования технологических процессов.

Предварительный подбор деталей для их обработки в ГПС осуществляется на основе параметрической модели совокупности обрабатываемых деталей путем решения задачи (I). Для решения данной задачи необходимо упорядочить исходное множество обрабатываемых деталей по обобщенному критерию "целесообразности обработки данной детали в ГПС". Наилучшим является такая совокупность деталей  $x_i \in X$  (см. задача (I)), которая обеспечит рациональное использование всех технологических ресурсов ГПС [9].

Значение обобщенного критерия целесообразности обработки детали  $x_i \in X$  в ГПС определяется по взвешенному показателю использованных технологических возможностей  $\mu_u(x_i)$  в виде

$$\mu(x_i) = \sum_{u=1}^l \alpha_u \mu_u(x_i), \quad (2)$$

где  $\alpha_u$  - вес значимости использования  $u$ -го ресурса при обработке детали.

Комплектация ГПС деталями считается удовлетворенной (множество  $X$ ), если в любой заданный отрезок времени расчитанный

$$\mu(X) = \sum_{x_i \in X} \mu(x_i)$$

находится в установленных пределах, как по обобщенному критерию

$$TB_{\min} \leq \mu(X) \leq TB_{\max},$$

так и по всем показателям  $\mu_u(X)$

$$TB_{u\min} \leq \mu_u(X) \leq TB_{u\max},$$

где  $TB_{\min}, TB_{u\min}, TB_{\max}, TB_{u\max}$  - ограничения, определяемые на основе технологических возможностей составляющих ГПС и определяющие количество деталей, входящих в множество  $X$  и их допустимые конфигурационно-технологические параметры.

Некоторые ограничения, поставленные на множество обрабатываемых деталей  $X$ , представлены на рис. 2. Пример формирования технологических возможностей для системы обеспечения инструментами и рационального использования ресурсов ( $R_i$ ) при обработке заданного множества деталей представлен в [9].

Глобальными целями при разработке производственных процессов изготовления деталей в ГПС являются:

- минимизация времени прохождения совокупности деталей  $X$  через производственную систему

$$\min T_{\Sigma}(X) = \min \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m t_{шт,ij} + \sum_{i=1}^N t_{вп,i} + \sum_{i=1}^N T_{x,i} \right);$$

- минимизация стоимости обработки совокупности деталей  $X$  в производственной системе

$$\min C_p(X) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m C_{ij},$$

где  $N$  - число деталей во множестве  $X$ ;

$m$  - число единиц технологического оборудования в ГПС;

$t_{шт,ij}$  - штучное время обработки  $i$ -ой детали на  $j$ -ом станке (состоит из времени установки ( $t_y$ ), основного времени ( $t_o$ ), времени позиционирования ( $t_n$ ) и времени смены инструмента ( $t_{сн}$ ));

$t_{вп,i}$  - время, связанное с реализацией производственного процесса в ГПС, (состоит из времени транспортиро-

вания ( $t_{\text{тр}}$ ), времени передачи ( $t_{\text{пер}}$ ) и из времени перемещения ( $t_{\text{нд}}$ );

$T_{x_i}$  - суммарное время простоев при изготовлении  $i$ -ой детали;

$C_{ij}$  - себестоимость обработки  $i$ -ой детали на  $j$ -ом виде технологического оборудования.

Основные идеи оптимизации технологических процессов обработки деталей в ГПС, используемых в качестве исходных в данной работе, представлены, например, в работе [10]. Характерной чертой этой работы является то, что процесс проектирования рассматривается как многоуровневый и итеративный. На основе т.н. "обобщенного технологического процесса обработки совокупности деталей" блоком 3 (рис. 2) разрабатывается для каждой детали  $x_i \in X$  ограниченное множество альтернативных технологических процессов  $\text{ТП}_k(x_i)$ , упорядоченное по возрастанию производительности обработки

$$\text{ТП}_1(x_i), \text{ТП}_2(x_i), \dots, \text{ТП}_k(x_i), \dots, \text{ТП}_n(x_i).$$

Для оценки альтернативных технологических процессов применяется нормированный показатель оптимальности по производительности ( $\lambda_k(x_i)$ ), который выражается отношением:

$$\lambda_k(x_i) = \frac{Q_k(x_i) - Q_{\min}(x_i)}{Q_{\max}(x_i) - Q_{\min}(x_i)}, \quad (3)$$

где  $Q_k(x_i)$  - производительность при обработке детали  $x_i$ , по  $k$ -му альтернативному технологическому процессу;

$Q_{\max}(x_i)$  и  $Q_{\min}(x_i)$  - производительность технологических процессов, обеспечивающих максимальную и минимальную производительность при обработке детали  $x_i$ .

Процесс выбора оптимальных технологических процессов носит итеративный характер. Во время первой итерации рассматриваются альтернативные технологические процессы, которые обеспечивают минимальную или близкую к ней себестоимость обработки ( $0 \leq \lambda_k \leq 0,5$ ). При этом исходят из того, что технологические процессы  $\text{ТП}_k(x_i)$  с высокой производительностью ( $T_{ц} \rightarrow \min$ ) обеспечивают также рациональную обработку совокупности деталей ( $C_p \rightarrow \min$ ). Другие варианты

( $T_u \rightarrow \min, C_p \rightarrow \max$ ) и особенно ( $T_u \rightarrow \max, C_p \rightarrow \max$ ) исключены уже на стадии селектирования технологических процессов.

Целевая функция при определении оптимального набора технологических процессов следующая:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij},$$

где  $C_{ij}$  - себестоимость обработки  $i$ -ой детали на  $j$ -ом станке,

$X_{ij}$  - индикатор применения  $j$ -го станка для обработки  $i$ -ой детали.

Ограничения можно разделить на две группы:

1. Учитывающие ресурсы ГПС:

$$\sum_{i=1}^N r_{ij}^p X_{ij} \leq R_j^p, \quad j=1, m; \quad p=1, s,$$

где  $r_{ij}^p$  - расход  $p$ -го ресурса при обработке  $i$ -ой детали на  $j$ -ом станке;

$R_j^p$  - фонд  $p$ -го ресурса для  $j$ -го станка;

$s$  - число разных ресурсов ГПС.

2. Учитывающие однозначность технологических процессов:

$X_{ij} + X_{i,j+1} = 1$  - если применяется  $j$ -ый или  $j+1$  станок;

$X_{ij} = X_{i,j+1}$  - если после  $j$ -го станка непременно применяется  $j+1$  станок.

Основой оптимизации последовательности запуска деталей является решение данной задачи для двух станков [III]. При применении ГПС, состоящей из  $m$  станков, определяется  $m$  разных очередностей запуска деталей, пользуясь условием

$$\min(T_{ij}, T_{t,m+1-j}) < \min(T_{tj}, T_{i,m+1-j}), \quad j = 1, m. \quad (4)$$

При выполнении условий (4) детали  $i$ -го вида предшествуют деталям  $t$ -го вида при длительности обработки партии этих деталей на  $j$ -ом станке соответственно  $T_{ij}$  и  $T_{tj}$ . Оптимальной является очередность, которая обеспечивает минимальное время прохождения совокупности деталей ( $\min T_{\Sigma}(X)$ ). Далее выбирается вместо технологических процессов, которые выполняют на наиболее загруженном станке те технологические процессы, которые не требуют использования этого станка или.

при отсутствии таковых заменяют их более производительными ( $0,5 \leq \lambda_k \leq 1,0$ ).

Процесс перебора альтернативных технологических процессов продолжается до тех пор, пока не будет больше уменьшаться  $T_{\Sigma}$ .

Если коэффициент загрузки ГПС после перебора альтернативных технологических процессов  $\eta \leq 0,85$ , то совокупность деталей X дополняется, а если  $\eta > 1,0$ , то удаляются из совокупности детали, имеющие наименьшее значение обобщенного критерия  $\mu(x_i)$ .

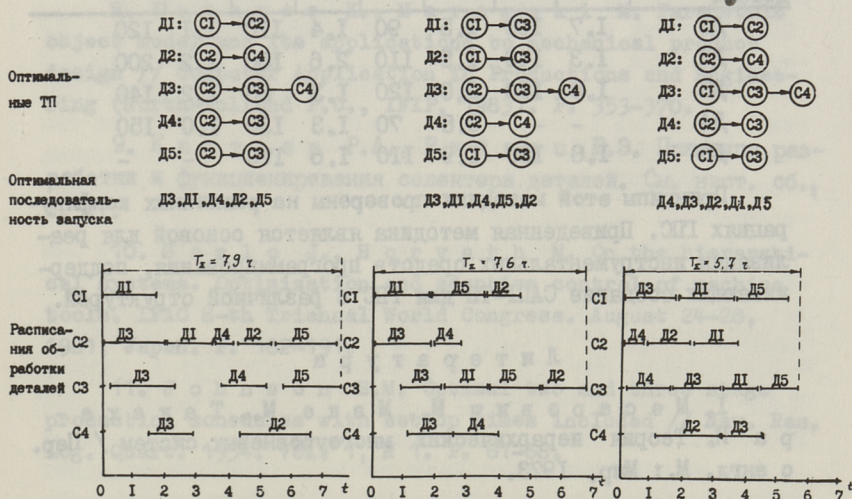


Рис. 4. Этапы оптимизации последовательности запуска деталей.

В качестве примера на рис. 4 в виде графа упрощенно описаны возможные альтернативные технологические процессы обработки 5 деталей (Д1 ... Д5), которые обрабатываются на 4 станках (С1 ... С4), а в таблице I приведены время обработки партии деталей (Т) и технологическая себестоимость обработки (С). На рис. 4 приведены также фрагменты процесса выбора оптимальных технологических процессов и улучшения расписания обработки.

Решение вышеприведенным образом задач разработки производственного процесса для интегрированных систем обеспечивает оптимальность технологических процессов и рациональную загрузку системы при обработке деталей, а также улучшает использование технологических возможностей системы.

Т а б л и ц а I  
Время (Т, ч) и себестоимость (С, руб.) обработки

Обозначение станка	С1		С2		С3		С4	
	Т	С	Т	С	Т	С	Т	С
Д1	1.7	190	1.5	90	1.4	110	1.1	120
Д2	1.3	140	1.5	110	2.6	180	2.2	200
Д3	1.8	180	2.0	120	1.3	80	1.2	140
Д4	-	-	0.8	70	1.3	130	1.0	150
Д5	1.8	130	1.9	110	1.6	170	-	-

Принципы этой методики проверены на различных конфигурациях ГПС. Приведенная методика является основой для реализации инструментальных средств программирования, поддерживающих создание САПР-ТП для ГПС с различной структурой.

#### Л и т е р а т у р а

1. Месарович М., Маке М., Такаха-  
ра И. Теория иерархических многоуровневых систем / Пер.  
с англ. М.: Мир, 1973.

2. Такама Н., Лоус Д. Multi-level optimization for multi-objective problems // Appl. Math. Modelling. Vol. 5. June 1981. P. 173-178.

3. Кюттнер Р.А., Рийвес Ю.Э., Ан-  
вельт Д.Д. Математическое моделирование структур гибких производственных систем и анализ их применимости // Вестник машиностроения. 1987. № 5. С. 13-17.

4. Рандла Р. Основные задачи системы оперативного планирования инструментального хозяйства в ГПС. См. наст. сб., с. 26.



5. Нам И., Хитоми К. Group technology applications for machine loading under multi-resource constraints // SME Manuf. Eng. Trans. Vol. 9. 9-th North Amer. Manuf. Res. Conf. May 19-22, 1981. P. 515-518.

6. Тейлор Ж.Е., Нам И. The use of micro computer for group scheduling // SME Manuf. Eng. Trans. Vol. 9. 9-th North Amer. Manuf. Res. Conf. May 19-22. Dearborn, Mich., 1981. P. 483-491.

7. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х томах. Л.: Машиностроение, 1983. 786 с.

8. Kawagoe K., Maragaki M. Parametric object model and its applications to mechanical product design // Computer Application in Productions and Engineering (North-Holland P.C., IFIP, 1983). P. 353-370.

9. Кюттнер Р.А., Рийвес Ю.Э. Принципы разработки и функционирования селектора деталей. См. наст. сб., с. 17.

10. Somlo J., Horvath M. On the hierarchical systems. Optimization and adaptive control of machine tools. IFAC 8-th Triennial World Congress. August 24-28, 1981, Japan. P. 182-191.

11. Johnson S.M. Optimal two and three stage production schedules with set-up times included // Nav. Res. Log. Quart. 1954. Vol. 1, N 1. P. 61-68.

R. Kyttner, Y. Riives, Y. Anvelt

Framework for Integrated Computer Aided Process Planning and Scheduling Systems

Abstract

A multi-level hierarchical process planning scheme is presented considering the structure and resources of FMS and FMS shop scheduling possibilities. The main objectives to realise the levels of the hierarchical planning and scheduling system were:

- preparation and adaption of the models for variable FMS working conditions and structures,
- forming groups of workpieces to be machined at certain time intervals,
- planning of alternative technological processes for each workpiece of the group,
- optimization of the production process for the selected group of workpieces.

Communications between the above-mentioned levels are proposed. The proposed process planning scheme will ensure optimal technological processes and rational utilization of FMS facilities.

R. Küttner, J. Riives, J. Anvelt

### Integreeritud tehnoloogiliste süsteemide tootmisprotsesside alused

#### Kokkuvõte

Artiklis on esitatud hierarhiline tootmisprotsesside projekteerimise süsteem detailide töötlemiseks painttootmissüsteemides. Vastavalt väljatöötatud metoodikale peetakse otstarbekaks kasutada nelja projekteerimistasandit. Nende eesmärkideks on:

- erinevate painttootmissüsteemide struktuuride ja tootmistingimuste kirjeldamine ning operatiivne muutmine ja kohandamine vastavalt etteantud tingimustele,
- töödeldavate detailide ratsionaalse spektri koostamine,
- alternatiivsete tehnoloogiate väljatöötamine,
- detailide tootmisprotsessi modelleerimine painttootmissüsteemis ning tulemuste analüüs ja otsuste vastuvõtmine.

Tootmisprotsesside projekteerimise esitatud süsteem tagab detailide valmistamise optimaalsed tehnoloogiad ning painttootmissüsteemi ressursside ratsionaalse kasutuse.

Р.А. Коттнер, Ю.Э. Рийвес

ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
СЕЛЕКТОРА ДЕТАЛЕЙ

Серийному-мелкосерийному производству характерна широкая номенклатура обрабатываемых деталей. Как правило, ППС спроектирована для определенного класса (или подобных классов) деталей, причем общее количество различных деталей может колебаться от нескольких штук до нескольких тысяч различных модификаций [1, 2]. Кроме того, номенклатура обрабатываемых деталей периодически изменяется и регулярно дополняется. В то же время изменения в номенклатуре обрабатываемых деталей не должны снижать эффективность работы автоматизированной производственной системы. Для обеспечения эффективного применения ППС, требуется из заданного множества допустимых деталей  $D^*$  выбрать только те, обработка которых в определенный плановый период на данной ППС производится минимальными затратами, которые достигают ритмичность работы и эффективное использование технологических возможностей оборудования ППС. Для выполнения вышесказанного считается целесообразным использовать специальную подсистему в общей схеме подготовки гибкого производства [3] (см. наст. сб., с. 3) т.н. селектора деталей.

Селектор деталей решает задачу оптимальной комплектации ППС с группами обрабатываемых деталей. Для выполнения этого используется два основных принципа (см. рис. 1). Первый из указанных основывается на традиционных методах групповой технологии [4]. Критериями выбора группы обрабатываемых деталей являются однородность обрабатываемого материала, размеры обрабатываемых деталей, точность обработки, размеры и виды обрабатываемых поверхностей и другие подобные критерии. На основе этих критериев выполняется первый этап выбора групп обрабатываемых деталей. Выбранные детали вклю-

чаются во множество  $\bar{X}$ . Количество различных деталей групп зависит от заданной параметрической модели комплексной детали.

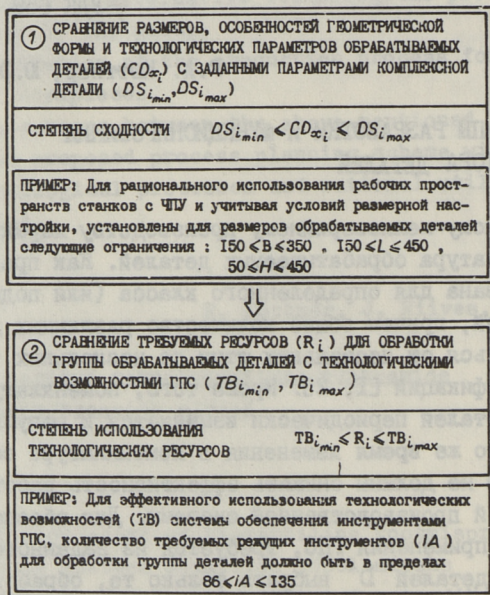


Рис. 1. Основные принципы подбора деталей для их обработки в ГПС.

Второй принцип (рис. I) существенно дополняет первый и его применение является особенно эффективным в случае автоматизированных производственных систем. Согласно этому принципу рациональная номенклатура обрабатываемых деталей в группе гарантируется использованием совокупности критериев, которые обеспечивают эффективное использование технологических возможностей отдельных оборудований (вместимость магазина инструментов станка с ЧПУ, вместимость тары для транспортировки инструментов и т.д.), технологических ячеек или подсистем (количество инструментальных магазинов и револьверных головок в системе, общее количество гнезд для инструментов в системе, общее число средств смены инструментов и т.д.). На основе выполнения второго

этапа подбора деталей вводится коррекция во множестве  $X$  и формируется окончательно множество обрабатываемых деталей  $X$  ( $X \subset \bar{X}$ ), обработка которых технически и организационно целесообразна на данной ГПС за заданное плановое время.

Исходные параметры и условия для составления критериев второго этапа подбора деталей рассмотрены на примере подсистемы инструментального обеспечения (рис. 2). Аналогичным образом можно сформулировать критерии, гарантиру-

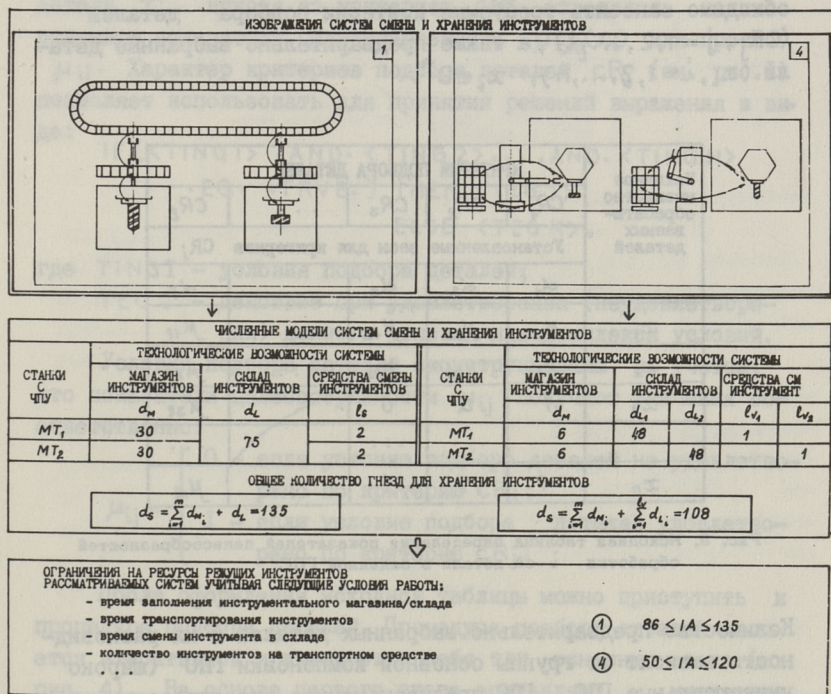


Рис. 2. Ограничения на ресурсы используемых режущих инструментов для обработки группы деталей в зависимости от технологических возможностей различных вариантов систем хранения и смены инструментов:

- $d_M$  - число гнезд в инструментальном магазине,
- $d_L$  - число гнезд в инструментальном складе,
- $l_V$  - число средств смены инструментов,
- $l_S$  - число манипуляторов на станках с ЧПУ.

щие рациональное использование других компонентов ППС (систему складирования, систему транспортирования деталей, технологическую систему и т.д.). В качестве примера некоторые критерии второго этапа подбора деталей были приведены на рис. 2 [3] (см. наст. сб., с. 5).

Следующей проблемой после определения характера и вида критериев подбора деталей (см. рис. 1, 2) является составление исходной таблицы с показателями целесообразности  $\mu_{ij}$  ( $i=1, n; j=1, l$ ) для реализации процедуры селектирования деталей. В составляемую таблицу (рис. 3) необходимо заносить требуемые критерии подбора деталей ( $CR_j, j=1, 2, \dots, l$ ), а также предварительно выбранные детали ( $x_i, i=1, 2, \dots, n$ ),  $x_i \in D^*$ .

Исходное множество обрабатываемых деталей	КРИТЕРИИ ПОДБОРА ДЕТАЛЕЙ				
	$CR_1$	$CR_2$	$CR_3$	...	$CR_l$
	Установленные веса для критериев $CR_j$				
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	...	$\alpha_l$
$x_1$	$\mu_{11}$	$\mu_{12}$	$\mu_{13}$	...	$\mu_{1l}$
$x_2$	$\mu_{21}$	$\mu_{22}$	$\mu_{23}$	...	$\mu_{2l}$
$x_3$	1	0	0		$\mu_{3l}$
...	...	...	...		...
$x_n$	1	1	1	...	$\mu_{nl}$

Рис. 3. Исходная таблица определения показателей целесообразностей обработки  $i$ -ой детали в заданной ППС.

Количество предварительно выбранных деталей и их разновидности зависят от группы основной компоновки ППС (широко универсальные ППС, ППС предназначенные для определенного класса работ, специализированные ППС) [5]. Количество и содержание используемых критериев ( $CR_j$ ) зависит от конструктивно-технологических признаков деталей  $x_i$ , входящих во множество  $D^*$ , а также от структуры ППС. Если допустим, что в гибкую производственную систему не входит подсистема транспортирования и хранения инструментов (система обеспечения инструментами), то естественно и критерии, гаранти-

рующие рациональную работу названной подсистемы, являются ненужными. В этих случаях вес  $k$ -го критерия  $CR_k$  является  $\alpha_k = 0$ . Для других критериев необходимо определить их удельные веса в зависимости от конкретных производственных условий и учитывая при этом ограничение:

$$\sum_{j=1}^l \alpha_j = 1.$$

Для окончательного формирования исходной таблицы подбора деталей (см. рис. 3), является необходимым для каждой детали  $x_i$ , исходя из критериев  $CR_j$ , определить количественные показатели целесообразности  $\mu_{CR_j}(x_i)$  или просто  $\mu_{ij}$ . Характер критериев подбора деталей  $CR_j$  (см. рис. I) позволяет использовать для принятия решений выражения в виде:

```
IF [ <TING 1> .AND. <TING 2> ... .AND. <TING N>
    .EQ. .TRUE. ] THEN <TEG 1>
    ELSE <TEG K> ,
```

где TING I - условия подбора деталей;

TEG J - действие при удовлетворении (неудовлетворении) данного условия или комплекса условий.

Условия подбора деталей сконструированы с учетом, что показатели целесообразности  $\mu_{ij}$  получают значения соответственно:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{-- если условие подбора деталей не удовлетворено по критерию } CR_j; \\ 1 & \text{-- если условие подбора деталей удовлетворено по критерию } CR_j. \end{cases}$$

После оформления исходной таблицы можно приступить к процедуре подбора деталей. Процедура подбора деталей является итеративной и включает в себя три основных этапа (см. рис. 4). На основе первого этапа составляют множество деталей  $\bar{X}$ , используя для этого оценки  $\alpha_j$  и  $\mu_{ij}$ . Если  $\mu_{ij}$  показывает только, является ли критерий  $CR_k$  при подборе детали  $x_k$  удовлетворенным или нет, то с целью получения более наглядных результатов о реализации технологических возможностей подсистем, ячеек и модулей ППС в случае изготовления предварительно выбранной совокупности деталей  $(\bar{X}, x_k \in \bar{X})$ , является целесообразным использование поправочного коэффициента  $\mu_{CR_k}^*$  у каждого  $k$ -го критерия. Суще-

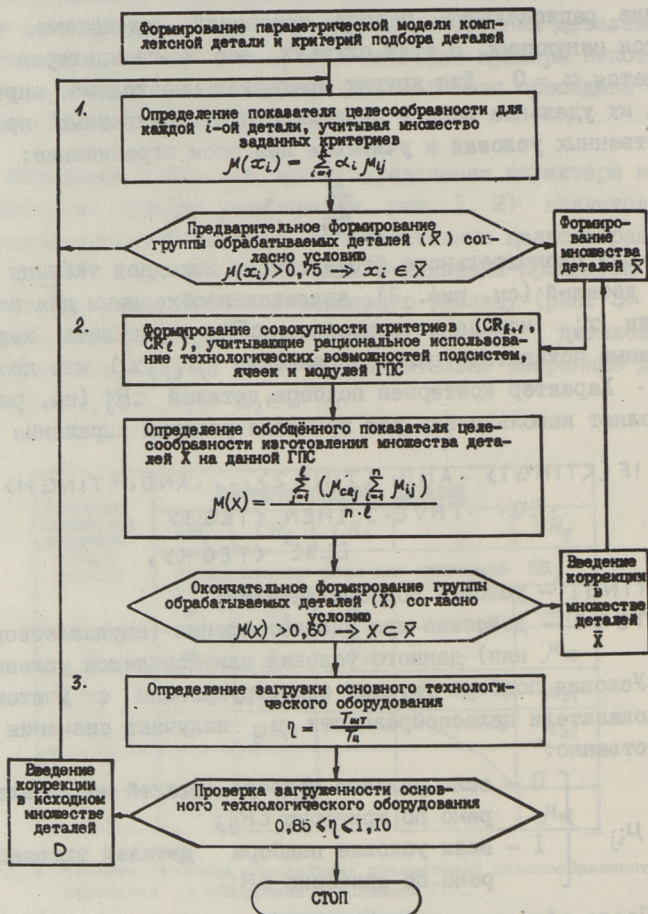


Рис. 4. Упрощенная блок-схема функционирования селектора деталей.

ность поправочного коэффициента для системы смены и хранения инструментов (вариант I, рис. 2) представлена на рис. 5. Поправочный коэффициент выражает степень технической загрузки определенной технологической подсистемы при реализации необходимых ресурсов определенного вида для изготовления совокупностей деталей  $\bar{X}$ .



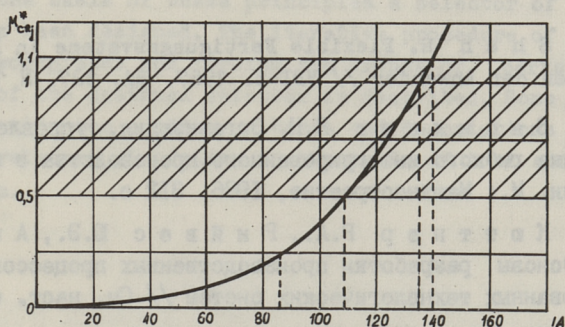


Рис. 5. Пример формирования поправочного коэффициента для системы обеспечения инструментами.

С использованием установленных поправочных коэффициентов и с учетом полученных оценок при действии всего множества критериев выполняется второй этап подбора деталей. Формирование окончательного множества обрабатываемых деталей  $X$  осуществляется на базе заданных условий выбора (см. рис. 2).

На третьем этапе работы селектора определяется загрузка технологического оборудования ППС. В случае недостижения допустимой загрузки необходимо ввести коррекции во множество обрабатываемых деталей и заново запустить процесс селектирования деталей. Если заданные условия выбора удовлетворены, можно считать процедуру селектирования деталей законченной.

Включение подсистемы подбора деталей в общую систему ТПП/ППС позволяет в значительной степени повысить эффективность работы существующих автоматизированных производственных систем, а также определить целесообразность проектирования новых на базе обрабатываемых на предприятии деталей.

## Л и т е р а т у р а

1. S h a h R. Flexible Fertigungssysteme in Europa. Erfahrungen der Anwender // VDI-Z. 1987. Bd. 127. N 10. S 13-21.

2. В а с и л ь е в В.Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. М.: Машиностроение, 1986. 312 с.

3. К ю т т н е р Р.А., Р и й в е с Ю.Э., А н в е л ь т Ю.Ю. Основы разработки производственных процессов для интегрированных технологических систем // См. наст. сб., с. 3.

4. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С.П. Митрофанов, Д.Д. Куликов, О.Н. Миляев, Б.С. Падун / Под общ. ред. С.П. Митрофанова. Л.: Машиностроение, 1987. 352 с.

5. Гибкие производственные комплексы / Под ред. П.М. Белянина и В.А. Лещенко. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.

R. Kyttner, Y. Riives

### Main Principles of Elaborating a Selector of Workpieces

#### Abstract

In the paper the main activities of workpiece groups formation for the effective machining of these in FMS at a given time interval are described. Two principles for preliminary workpiece group formation are applied:

- comparison of shape features, dimensions, and technological parameters of workpieces with the parametrical model of part family;

- comparison of resources needed for machining the group of workpieces with the proposed limits of FMS subsystems.

On the basis of these principles a selector of workpieces has been designed. The iterative procedure of sorting the workpieces and forming the groups of parts with the help of the designed selector is described. Some examples of elaborating the sorting criteria and descriptions of selector levels are also given on the basis of tool and holding system.

R. Küttner, J. Riives

### Detailide selektori väljatöötamise ning funktsioneerimise printsiibid

#### Kokkuvõte

Artiklis on esitatud töödeldavate detailide ratsionaalse grupi formeerimise põhiprintsiibid. Nende rakendamine võimaldab etteantud ajaintervallis otstarbekalt kasutada paindootmissüsteemi tehnoloogilisi võimalusi. Töödeldavate detailide grupi ratsionaalse koosluse saamiseks soovitatakse kasutada alljärgnevaid protseduure:

- võrrelda töötlemiseks valitud detailide geomeetrist kuju ning tehnoloogilisi parameetreid koostatud kompleksdetaili vastavate näitajatega;
- võrrelda eelnevalt formeeritud detailide grupi töötlemiseks vajalikke ressursse paindootmissüsteemi võimalustega.

Esitatud on nimetatud printsiipidel põhinev detailide selektori plokk skeem ning kirjeldatud selle töö põhimõtet. Samuti on toodud mõned praktilised detailide valiku kriteeriumid instrumentide automatiseeritud transportimise ning laadustamise alamsüsteemi kohta.

Р.Рандла

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО  
ПЛАНИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА В ГПС

Гибкие производственные системы (ГПС) с высокой степенью автоматизации включают в себя систему обеспечения инструментом (СОИ), выполняющую процедуры транспортирования, смены и складирования инструментов при автоматизированной обработке деталей. Реализовать СОИ можно по-разному (см. наст. об., с. 19), однако, как правило, все эти системы включают следующие компоненты: шпиндельный узел, один или несколько инструментальных магазинов (ИМ) на станок, один или несколько инструментальных складов (ИС) на систему, средства транспортирования инструментов (СТИ) и средства смены инструментов (ССИ).

Задачи выбора перечисленных средств среди альтернативных вариантов образуют отдельный класс задач, которые необходимо решить при проектировании ГПС. В ходе проектирования гибкого автоматизированного производства кроме САПР-ТП необходимыми являются также системы оперативного планирования и управления, в том числе и система оперативного планирования инструментального хозяйства.

Главная цель оперативного планирования заключается в организации согласованного во времени и в пространстве (по ячейкам, модулям и т.д.) движения деталей и изделий. Оперативное планирование должно содействовать полному выполнению производственной программы при соблюдении сроков выпуска продукции, рациональному использованию оборудования, производственных площадей, рабочей силы и оборотных средств [1]. Это требует, особенно в ГПС, не только установления времени и места выполнения технологических операций над

партиями деталей, но и планирования доставки заготовок-деталей, обеспечения инструментами, приспособлениями и управляющими программами. Одной и достаточно сложной задачей в том комплексе является оперативное планирование инструментального хозяйства (ОПИХ). В данное время только некоторые работы, например [2, 3, 4], изучают организационные проблемы инструментального хозяйства в ГПС. Исключением является задача минимизации инструментальных наладок (например, работы [5, 6]), но она больше связана с оперативным планированием технологического процесса (ОПТП).

Работа ОПИХ происходит плановыми сеансами в составе оперативного планирования ГПС, как правило, раз в рабочий день, можно применять и другие циклы, например, раз в смену [5] или в неделю [1].

Множество задач, которыми занимается ОПИХ, можно сгруппировать следующим образом (см. рис. 1):

1. Определение потребности в инструменте.
2. Анализ соответствия потребления инструментов с технологическими возможностями ССИ.
3. Обеспечение ГПС инструментом.
4. Планирование движения инструментов в ГПС.
5. Учет состояния инструмента в ССИ.

Файлы решений перечисленных задач ОПИХ записываются в библиотеку. Длительность хранения файлов зависит от потребности в их применении. Некоторые решения могут храниться постоянно, например, нормы расхода инструментов по деталям и операциям, но в основном, файлы в библиотеке решений не подлежат долгосрочному хранению.

Для решения задач ОПИХ требуется соответствующее информационное обеспечение, которое по своему характеру можно разделить на четыре части:

1. База данных (БД) режущего инструмента.
2. БД моделей ССИ.
3. БД состояния режущего инструмента.
4. БД состояния ССИ.

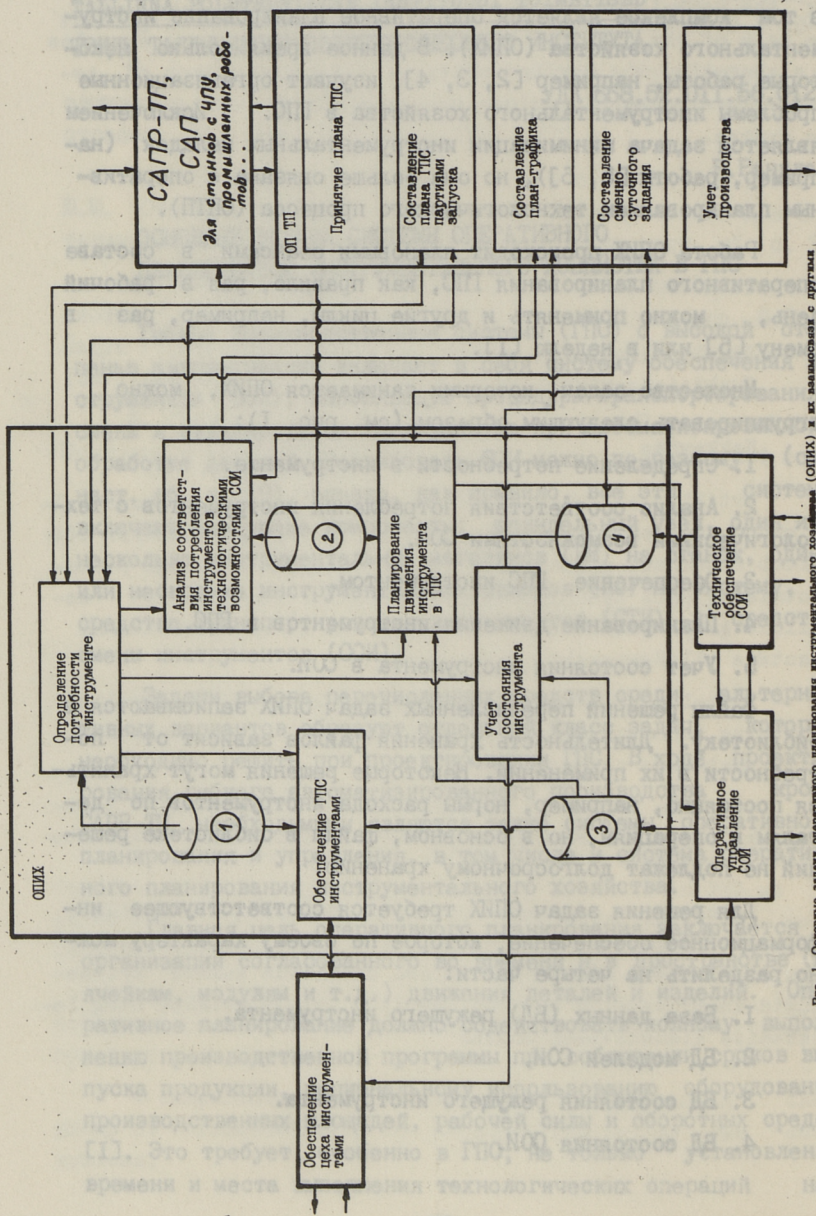
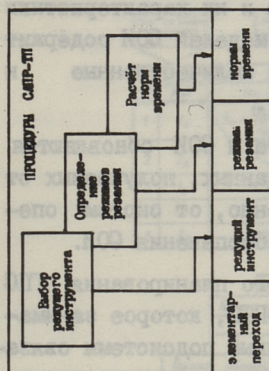


Рис. 1. Основы задачи оперативного управления инструментом (ОПИХ) и их взаимосвязи с другими системами, обеспечивающие технологическую подготовку автоматизированного производства: 1 - база данных (БД) инструментов, 2 - БД моделей СОИ, 3 - БД состояния инструментов, 4 - БД состояния СОИ.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ СОМ									
Технологические возможности		Технологические возможности СОМ							
Число мест в ИИ в ППС	Число мест в ИИ	Число мест в ИС			Число средств смены инструментов			Число средств смены инструментов	
		$d_n$	$d_m$	$d_i$	$d_{12}$	$d_{13}$	$f_s$	$f_v$	$P_v$
ОБ <sub>1</sub>	6	—	—	—	—	—	1	—	—
ОБ <sub>2</sub>	1	30	24	24	24	24	1	—	4
ОБ <sub>3</sub>	6	16	—	—	—	—	1	—	—

ОПИХ



Составляющие времени манипулирования инструментами [с]	Составляющие СОМ					Ремонт	РП
	Система инстру-ментов	Склад инстру-ментов	Транспортировка инстру-ментов	Предварительная обработка	Ремонт		
	ОБ <sub>1</sub>	ОБ <sub>2</sub>	ОБ <sub>3</sub>	ИС	ТИ	НИ	РИ
Время установки (снятия) инструмента в шпиндель станка $t_{sp}$	0.5	1.2	0.7				
Время установки (снятия) инструмента в ИИ/ППС $t_{ii}$	0	1.5	1.2				
Время поворота манипулятора $t_{mp}$	1.0	2.0	1.5				
Время поворота ИИ на ось позадиче $t_{sp}$	0.5	0	0.5				
Время поворота ИС на ось позадиче $t_{sp}$	0	1.5	0.5				
Время установки/снятия инструмента в ИС инструмента $t_{is}$				1.5			
Время поворота манипулятора $t_{mp}$				0.5			
Время транспортирования $t_{tr}$				1.5			
Время инструментальной наладки $t_{in}$					10		
Время ремонта инструментов $t_{ri}$						30	
							240

КОМПЛЕКТ ИНСТРУМЕНТОВ																				
Код инструмента	Код материала	Тип материала	Номера чехов инструментов																	
			1	2	3	4	5	6	...	48										
K17	M1	RP	17	18	19	110	112	117												
K12	M2	TA																		144

ДОСТАВКА ИНСТРУМЕНТОВ					
Код комплектности	Код инструмента	Код материала	Средств	Ор-гана	Конеч
			на станке	заказа	цель
K17	117	12	P1	СИ	8.50
K17	116	12	P1	ОБ <sub>1</sub>	8.51
K02	104	36	P2	ЦС	7.45
				СИ	8.00

Рис. 2. Некоторые примеры ввода-вывода системы ОПИХ.

Первые две из перечисленных содержат постоянно хранящуюся информацию. В БД режущего инструмента зафиксированы номенклатура применяемых инструментов и их характеристики (стойкость, нормы запаса и т.п.). БД моделей СОО содержит сведения о составе ИС, ИМ, СТИ и ССИ, количественные и временные показатели СОО (см. рис. 2).

БД состояния режущего инструмента и СОО обновляются в начале планового сеанса на основе данных, получаемых от систем реального времени, соответственно, от систем оперативного управления и технического обеспечения СОО.

ОПИХ входит в систему оперативного планирования ГПС (ОПГПС). ОПИХ тесно взаимосвязано с ОППП, которое занимает ведущее место в ОПГПС. Обе названные подсистемы связаны с системой автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР-ТП). Основные потоки информации между САПР-ТП, ОППП и ОПИХ представлены на рис. 1. Некоторые примеры ввода-вывода ОПИХ приведены на рис. 2. Далее рассматриваются подробнее группы задач ОПИХ с точки зрения организационно-технических вопросов обработки деталей.

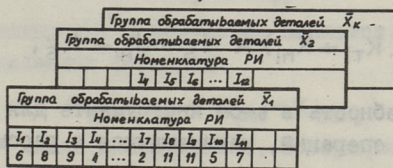
## 1. Определение потребности в инструменте

В план-графике работы ГПС перечислены операции над групповыми партиями деталей, обрабатываемыми в течение заданного планового периода времени (как правило, рабочий день). Номенклатура инструментов и соответствующие времена выполнения переходов по деталям получаются из разработанных технологических процессов (см. рис. 2, рис. 3). Процедура определения номенклатуры и потребности в инструменте для выбранных групп обрабатываемых деталей представлена на рис. 3. Условия формирования групп обрабатываемых деталей были рассмотрены в [7].

При выполнении операций над группой партии время стойкости многих инструментов используется не полностью. Дополнительная эксплуатация их на других операциях существенно сокращает суммарный расход инструмента. При определении количества передаваемых инструментов (высчитывается при расчете суммарного расхода) необходимо учесть плано-



№/п/п	Номенклатура РИ	Учитывая условия формирования группы деталей $\bar{X}_i$				Кол-во инструментов $i=10$ вида
		$\alpha_1$	$\alpha_2$	...	$\alpha_n$	
1	$I_1$	$k_{11} = \frac{t_{пер11}}{T_{11}}$	$k_{12} = \frac{t_{пер12}}{T_{12}}$	...	$k_{1n} = \frac{t_{пер1n}}{T_{1n}}$	$\sum_{j=1}^n K_{ij}$
2	$I_2$		$k_{22} = \frac{t_{пер22}}{T_{22}}$	...	$k_{2n} = \frac{t_{пер2n}}{T_{2n}}$	$\sum_{j=1}^n K_{ij}$
3	$I_3$	0	0	...	0,066	156
...	...	...	...	...	...	...
l	$I_l$	0,028	0,14	...	0,17	971



Определение необходимого количества инструмента для обработки группы деталей

$$IA^k = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^n K_{ij}$$

$IA^k = 89$

Рис. 3. Процедура определения требуемого количества инструментов для обработки заданной группы деталей:

$t_{перij}$  - время выполнения перехода  $i$ -ым ( $i = 1, l$ ) инструментом для  $j$ -ой детали ( $j = 1, n$ );  
 $T_{ij}$  - стойкость инструментов.

вый остаток инструмента данного наименования и состояние инструментов на начало дня, а также стойкость инструмента, времена его работы по операциям и реальные возможности передачи инструмента с одной операции на другую.

## 2. Анализ соответствия потребности в инструментах с технологическими возможностями СОО

Технологические возможности СОО образуются на базе данных, получаемых с количественной модели и с модели временных связей (см. рис. 2). В зависимости от варианта исполнения СОО должны быть реализованы и соответствующие ус-

ловия, ограничивающие количество потребляемых инструментов и гарантирующие нормальную работу ГПС. В нижеследующем приводятся необходимые условия учета возможного количества инструментов для двух базовых вариантов систем обеспечения инструментами.

### Вариант 1

Сравнение суммарной потребности в инструменте с общей вместимостью ССИ в случае индивидуальной подачи инструмента со склада в станок осуществляется согласно условию:

$$\sum_{i=1}^I (K_{Ti} + K_{ni}) \leq d_s - d_n - k_s, \quad (1)$$

где  $K_{Ti}$  - потребность в  $i$ -ом инструменте для выполнения всех операций, начинающихся в рассматриваемый день;

$K_{ni}$  - число инструментов, переходящих с предыдущего дня;

$d_s$  - общее число гнезд для инструментов в системе;

$d_n$  - число гнезд на страховой запас инструмента;

$k_s$  - число рабочих шпинделей в ГПС.

### Вариант 2

Сравнение суммарной потребности в инструменте по модулям обработки, учитывая возможность смены инструментов полными комплектами у каждого производственного модуля выполняется согласно условию:

$$\bigvee_{m=1}^M (IA^k \leq d_{sm}), \quad (2)$$

где  $d_{sm}$  - число гнезд в инструментальном магазине и револьверной головке при станке;

$M$  - число модулей (станков) в системе.

## 3. Обеспечение ГПС инструментом

Изучаемая группа задач связывает ОПИХ с цеховым (заводским) инструментальным хозяйством. Она включает следующие задачи:

- заказ инструмента,
- учет и анализ выполнения заказа инструмента,
- планирование ремонта инструмента,
- учет и анализ выполнения ремонта инструмента.

Заказ инструмента формируется на основе потребности по наименованиям инструмента с заранее назначенным опережением по отношению срока их использования. Величина заказа на  $i$ -ый инструмент  $P_{zi}$  с учетом его однократного применения (после ремонта направляется в склад цеха) равняется:

$$P_{zi} = K_{Ti} \cdot \quad (3)$$

Если инструмент с переточки вернется в ГПС, величина заказа определяется формулой:

$$P_{zi} = K_{Ti} - K_{рbi} - K_{остi}, \quad (4)$$

где  $K_{рbi}$  - число инструментов, возвращающихся из ремонта,  $K_{остi}$  - остаток инструментов с предыдущего дня, которые не работали.

Для инструмента, расходуемого в большом количестве, целесообразно создать запасы при ГПС. Объем запасов и заказы планируются подобно [8].

#### 4. Планирование движения инструментов в ГПС

Рассматриваемая группа задач необходима для подготовки задания перемещения инструментов внутри ГПС с целью получения данных для реализации подсистемы оперативного управления СОО.

Набор задач и алгоритмы их решения для ГПС зависят от конкретной реализации ее СОО, от систем ОПТП и оперативного управления СОО. Данный блок может выполнить следующие задачи:

- распределение потребного количества инструментов по инструментальным магазинам (ИМ) и складам (ИС);
- планирование заполнения ИМ и ИС;
- учет и анализ заполнения ИМ и ИС;
- планирование доставки инструментов к станкам;
- учет и анализ доставки инструмента к станкам;

## Временные показатели движения инструментов в ППС

Начало операции	Длительность операции
$T_{осв} \leq T_{M_1}^d \leq T_{op_1}$	I. Время заполнения инструментального магазина $j$ -го станка
$T_{TR_1}^d \leq T_{M_1}^d - t_{TR}$	$t_{magj} = \sum_{i=1}^{I_{op}} \left[ \left( \frac{L_{xi}}{V_x} + \frac{L_{zi}}{V_z} \right) + \left( t_{HL_i} + t_{VL_i} \right) \right]$
$T_{TA_1}^d \leq T_{TR_1}^c - t_{TA}$	2. Время доставки тары с инструментами к станку
$T_{M_2}^d \geq T_{op_2} - t_M$	$t_{TR} = t_{AM}^{TR} \cdot \rho_{TR} + \frac{l_{TR}}{V_{TR}}$
$T_{TR_2}^d \geq T_{M_2}^c$	3. Время заполнения тары с инструментами
$T_{TA_2}^d \geq T_{TR_2}^c$	$t_{TA} =  A_{op}  \cdot t_{AS}^{TR}$
$T_{op_1}, T_{op_2}$ - начало и конец операции; $T_{осв}$ - время освобождения станка от предыдущей операции; $T_{TR_1}^d$ , $T_{TR_1}^c$ - начало и конец доставки тары с инструментами (ИМ РГ) к станку; $T_{TR_2}^c, T_{TR_2}^d$ - начало и конец удаления тары с инструментами (ИМ, РГ) со станка; $T_{M_1}^d, T_{M_1}^c$ - начало и конец заполнения ИМ (РГ); $T_{M_2}^d, T_{M_2}^c$ - начало и конец удаления инструментов из ИМ (РГ); $T_{TA_1}^c, T_{TA_1}^d$ - начало и конец заполнения тары инструментами; $T_{TA_2}^c, T_{TA_2}^d$ - начало и конец удаления инструментов из тары; $I_{op}$ - число инструментов, необходимых установить в ИМ (РГ) для начала обработки деталей; $L_{xi}, L_{zi}, L_{zi}^d$ - длины транспортирования $i$ -го инструмента; $V_x, V_y, V_z$ - скорости движения инструмента по осям координат $X, Y, Z$ ; $t_{HL}$ и $t_{VL}$ - соответственно время захвата и расхвата работа-манипулятора; $t_{AM}^{TR}$ - время установки одной единицы тары на транспортное средство; $\rho_{TR}$ - число единиц тары; $l_{TR}$ - длина транспортирования; $V_{TR}$ - скорость транспортирования; $t_{AS}^{TR}$ - время установки одного инструмента в гнездо тары.	

- планирование комплектации инструментальных наладок;
- учет и анализ комплектации инструментальных наладок;
- планирование предварительной надстройки;
- учет и анализ предварительной надстройки.

С целью сокращения времени смены инструмента в ГПС необходимо оптимизировать их расположение в ИМ и ИС. Подобные вопросы становятся более komplицированными, если для обработки партии деталей требуется больше инструментов, чем вместимость инструментального магазина. Тогда необходимо назначить первоначальный комплект и времена ввода инструментов-дублёров. Если при станке несколько магазинов, определяются комплекты инструментов на каждый магазин и соответствующие времена ввода-вывода инструментов. Организация файлов с вышеприведенными данными является также задачей ОПИХ (см. рис. 2). Расчет временных показателей движения инструментов для одного варианта реализации СООИ представлена в таблице I.

#### 5. Учет состояния инструмента в СООИ

Основными целями учета состояния инструмента в ОПИХ являются:

- сравнение потребности в инструменте на предстоящий день с существующими ресурсами;
- анализ расхода инструментов.

Для нормальной работы ГПС должно быть гарантировано условие (5)

$$\bigvee_{i=1}^I (K_{si} \geq K_{Ti} + K_{ni}), \quad (5)$$

где  $K_{si}$  - действительное число инструмента в СООИ на начало дня.

Результаты работы данного блока трансформируются к блокам: обеспечение цеха инструментами и составление план-графиков. В зависимости от существующих инструментальных ресурсов в ГПС продолжается нормальная работа или воспринимается мероприятие для гарантирования ее.

Полное решение перечисленных задач оперативного планирования инструментального хозяйства является достаточно komplицированной, но и необходимой проблемой для обеспечения сбора и целенаправленного использования данных, полученных с уровней САПР и оперативного управления, а также для разработки и выдачи документов настройки СОВ, планирования движения и учета инструментов внутри системы, контроля и анализа состояния их в ходе работы ГПС.

Следующей проблемой, которую необходимо решить, является разработка архитектуры программного обеспечения и реализация её с целью обеспечения функционирования приведенной схемы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Петров В.А., Масленников А.Н., Осипов Л.А. Планирование гибких производственных систем. Л.: Машиностроение, 1985. 182 с.
2. Гибкие производственные комплексы / Под ред. П.Н. Белянина, В.А. Лешенко. М.: Машиностроение, 1984. 384 с.
3. Берзин А.И., Гутман А.В., Колногоров А.В. Модель инструментального обеспечения гибкой производственной системы механообработки // Гибкие производственные системы. Л. 1984. С. 69-72.
4. Гурко Л.В. Резервы повышения ритмичности производственных процессов и выхода готовой продукции (на примере производственных объединений и предприятий с серийным и единичными типажам производства): Автореф. ... канд. экон. наук, 08.00.21. Харьков, 1988. 20 с.
5. Чудаков А.В., Фалевич Б.Я. Автоматизированное оперативно-календарное планирование в гибких комплексах механообработки. М.: Машиностроение, 1988. 224 с.
6. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Технологические основы автоматизации производственных процессов". Владимир, 1983. 36 с.
7. Кюттнер Р.А., Рийвес Ю.Ю. Принципы разработки и функционирования селектора деталей. См. наст. сб., с. 17.

8. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием. Ч. I / Под ред. В.А. Летенко, Б.Н. Родионова. М.: Высшая школа, 1979. 296 с.

R. Randra

Main Tasks of Production Scheduling in  
Tool Holding and Handling System

Abstract

In the paper the main tasks of production scheduling in tool holding and handling system (THHS) are considered. Principal tasks are: determining the nomenclature requirement of tools for producing a certain set of parts; comparing the needed number of tools with the technological capabilities of tool holding and handling system; ensuring FMS with the tools required at certain time intervals; the planning of transportation and motion of tools within and outside FMS. These tasks are immediately connected with the problems of designing and operating the THHS.

In the article the communications of the above-mentioned tasks with the process planning system are also presented. Some examples of input-output data structures of production scheduling in THHS are given.

R. Randla

Paintootmissüsteemide instrumendimajanduse  
operatiivplaneerimise süsteemi põhiülesanded

Kokkuvõte

Artiklis on kirjeldatud paintootmissüsteemide instrumendimajanduse operatiivplaneerimise süsteemi põhiülesannete olemust. Samuti on näidatud, kuidas toodud ülesanded (instrumentide nomenklatuuri ja vajaduse määramine, instrumentide vajaduse ja süsteemi tehnoloogiliste võimaluste vastavuse analüüs; paintootmissüsteemi varustamine instrumentidega; instrumentide liikumise skeemi määramine paintootmissüsteemis; instrumentide arvestus ja kontroll) on seotud teiste tootmise tehnoloogilise ettevalmistuse küsimustega. Illustratsiooniks on esitatud mõned näited käsitletava operatiivplaneerimise alamsüsteemi tööpõhimõtete kohta. Lähemalt on analüüsitud instrumentide operatiivplaneerimise alamsüsteemi toetavaid mudeleid ja nende olemust.



МОДЕЛЬ ВЫБОРА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В существующих технологических САПР, как правило, выбор режущего инструмента сводится к априорному его определению через установленную модель технологического процесса обработки. Такой подход исключает влияние инструмента на условия количественного и качественного формирования обрабатываемой поверхности. Обработка поверхности характеризуется многовариантностью – заданное качество может быть достигнуто различными способами обработки, причем выбор способа на конкретном предприятии в основном определяется конкретными факторами: традициями, наличием оборудования, наличием инструмента и т.п. Этим объясняется необходимость разработки блока выбора инструмента заново для каждой новой системы.

Ниже предлагается модель выбора инструмента, призванная уменьшить необходимый объем затрат при разработке системы проектирования технологии.

Разработка данной модели базируется на следующих положениях:

- каждая деталь состоит из отдельных геометрических элементов – конструктивных особенностей [1] (КО);
- для обработки заданной КО существует конечное множество возможных инструментов (реализующих элементов);
- существует набор целевых функций, характеризующих принятые решения.

Для формализованного описания схемы процесса решения задачи о выборе инструмента используем подход, приведенный в [2, 3, 4].

Для решения задачи необходимо иметь следующие исходные данные:

- частично упорядоченное множество  $\vec{U} KO$ ;
- множество реализующих элементов  $K$ , на которых можно реализовать формирование  $KO$  с заданными свойствами;
- условия вложения.

Отображение  $F(\vec{U})$  призвано характеризовать деталь через подмножество  $KO$ .

Выбор возможных режущих инструментов сводится к определению отображения

$$\beta: K \rightarrow \{\vec{K}\},$$

где  $\{\vec{K}\}$  - множество всех частично упорядоченных множеств, составленных из элементов  $K$ .

Для определения корректного в смысле технического содержания соответствия между множеством  $KO$  и множеством реализующих элементов используется операция  $\pi$

$$\pi: F(\vec{U}) \rightarrow \beta(\vec{H}), \quad (I)$$

где  $\vec{H} \in \vec{K}$ .

Задача заключается в поиске подмножества  $\vec{H} \in \vec{K}$  и отображений  $F$  и  $\beta$ , удовлетворяющих условию вложения (I). При этом необходимо учитывать, что элементы множеств  $\vec{U}$  и  $\vec{K}$  сами являются множествами характеристик  $KO$  и элементов, реализующих их. Это вызывает необходимость в проверке вложений множеств характеристик  $u_i \in h_j$ .

Поиск подмножества  $\vec{H}$  и отображений  $F$  и  $\beta$  осуществляется при дополнительном требовании минимизации некоторого функционала  $\Phi: \vec{H} \rightarrow R$ ; определяющего вес реализующих элементов. Решение поставленной задачи сводится к решению трех подзадач:

- описание детали через  $KO$  путем преобразования множества  $\vec{U}$ ;
- преобразование множества  $\vec{K}$ ;
- проверка соответствия между множествами реализующих элементов и  $KO$ .

Элементы множеств  $U$  и  $K$   $u \in U$  и  $k \in K$  характеризуются некоторым комплексом данных, информационной моделью,

в которую обязательно входит идентификатор элемента  $u^u \in U$ ,  $k^u \in K$  и набор атрибутов.

В задаче выбора инструментов для обработки КО каждой КО соответствует один или несколько типов реализующих элементов. Если  $X_i$  набор атрибутов, характеризующих инструмент, то множество  $U$  может быть сформировано как множество, элементы которого суть множества вида  $(u_i^u, X_i)$ .

Если операцию выбора типа реализующего элемента обозначить

$$\alpha : (u_i^u, X_i) \rightarrow (k_i^u, X_i),$$

то задача выбора реализующих элементов определяется выражением

$$\pi : (\alpha \cdot F)(\bar{U}) \rightarrow \beta(\bar{K}).$$

Решением является множество реализующих элементов, среди которых необходимо сделать выбор.

Элемент  $(\alpha \cdot F)(u)$  целесообразно называть виртуальным реализующим элементом ввиду его общности, а конкретный соответствующий ему по типу элемент из множества  $K$  называется физическим элементом.

Таким образом, модель выбора инструмента состоит из двух уровней: виртуального и физического. К первому относится решение подзадач 1 и 2, ко второму – проверка вложения.

Алгоритмическая модель с учетом требований оптимальности выбора реализующих элементов представлена на рис. 1.

На рисунке виртуальный уровень описывается левой стороной от диагонали прямоугольника. Согласно искомому отображению упорядочено множество  $\bar{K}$ , из которого согласно отображению  $F(\bar{U})$  выбираются все варианты реализующих элементов.

На физическом уровне происходит проверка вложения  $\pi$  с целью выяснения набора реализующих элементов согласно условию наличия. На этом же уровне определяется окончательный вариант в блоке оптимизации через заданный функционал  $\Phi$ . Здесь  $f$  – отображение, представляющее переход к следующей итерации решения.

Практическая реализация приведенной модели описывается на рис. 2.

На виртуальном уровне поиска выявляются теоретически все возможные инструменты для реализации заданных условий на выделенном элементе (КО), для чего обращаются к БД, где сопоставлены вид КО, вид обработки и параметры качества КО. В итоге выделяется подмножество виртуальных инструментов.

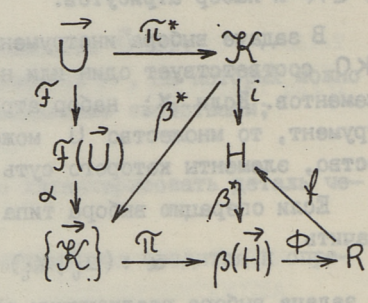


Рис. 1. Алгоритмическая модель выбора реализующих элементов.

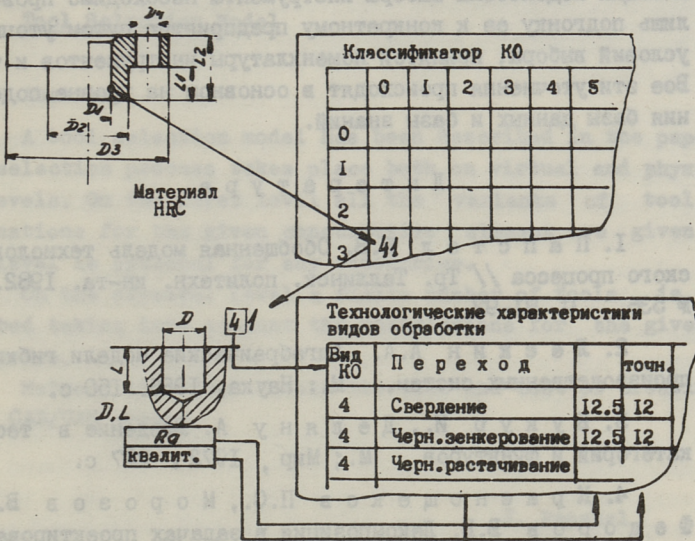
Как видно, сопоставляются не множество инструментов и множество КО, а множество видов обработки. Такой подход вытекает из практики, согласно которой определенное качество достигается на какой-то операции, т.е. в совокупности инструмента, приспособления, оборудования. Однако в контексте выбора инструмента элементы множества видов обработки могут быть выражены в терминах типов инструментов.

Необходимо подчеркнуть, что при выполнении операции  $\alpha$  необходимо соблюдать принцип предшествования. То есть каждому реализующему элементу необходимо добавить предшествующие элементы. Например, если по условию была выбрана развертка, то по правилам технологии машиностроения ей должен предшествовать зенкер и сверло как один из вариантов, что и вводится в выделенное подмножество.

После этого этапа происходит предварительный выбор инструментов на физическом уровне поиска. Поиск ведется среди реально существующих инструментов на данном предприятии. На этом же уровне выбирается инструментальный материал для всех предварительно выбранных инструментов.

Дальше следует расчет критериев выбора инструментов. Критерии выбора устанавливаются для каждого предприятия, согласно их условиям. Затем информация поступает в блок оптимизации для окончательного выбора инструмента и уточнения его геометрических параметров.

Виртуальный уровень поиска



Физический уровень поиска

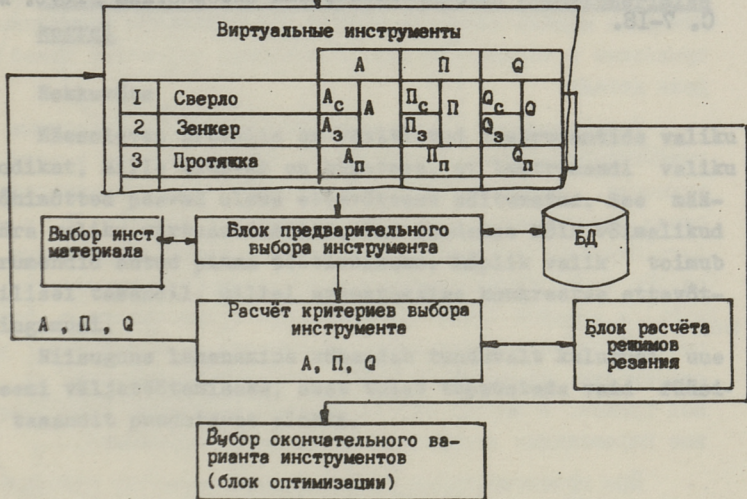


Рис. 2. Схема выбора инструмента.

Таким образом, согласно предложенной методике для реализации подсистемы выбора инструмента необходимо провести лишь подгонку ее к конкретному предприятию путем уточнения условий выбора, принятой номенклатуры инструментов и т.п. Все эти уточнения происходят в основном на уровне содержания базы данных и базы знаний.

### Л и т е р а т у р а

1. Папстел Ю.В. Обобщенная модель технологического процесса // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1982. № 536. С. 81-92.

2. Лескин А.А. Алгебраические модели гибких производственных систем, М.: Наука, 1986. 150 с.

3. Букур И., Деляну А. Введение в теорию категорий и функторов. М.: Мир, 1972. 287 с.

4. Краснощекоев П.С., Морозов В.В., Федоров В.В. Декомпозиция в задачах проектирования // Изв. АН СССР. Сер. "Техническая кибернетика", 1979. № 2. С. 7-18.

## Tool Selection Model

### Abstract

A tool selection model has been described in the paper. Tool selection process takes place both on virtual and physical levels. On the first level all the variants of tool combinations for the given constructive element are given. This level is optional for any enterprise.

On the physical level a finite number of tools is selected taking into account the restrictions for the given enterprise.

Methods like that reduce the time and cost of creating a new CAD/CAM system.

J. Papstel

## Instrumentide valik automatiseeritud projekteerimise korral

### Kokkuvõte

Käesolevas artiklis on käsitletud instrumentide valiku meetodikat, mille aluseks on hüpotees, et instrumendi valiku üldpõhimõtted peavad olema ettevõttest sõltumatud. See määrab ära valiku virtuaaltasandi, kus saadakse kõik võimalikud instrumendid antud pinna töötlemiseks. Lõplik valik toimub füüsilisel tasandil, millel arvestatakse konkreetse ettevõtte tingimusi.

Niisugune lähenemine vähendab tunduvalt kulutusi uue süsteemi väljatöötamiseks, sest tuleb täpsustada vaid füüsilist tasandit puudutavat plokki.

А.А. Киммель, И.П. Петухов

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА  
В ИНТЕРАКТИВНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В статье рассматриваются алгоритмы определения траектории перемещения инструмента в интерактивной графической системе программирования двух- и трехкоординатных станков с ЧПУ – токарных, фрезерных и многоцелевых станков.

Позиционирование инструмента в настоящей системе осуществляется путем указания его положения относительно геометрических элементов обрабатываемой детали. Для расчета координат траектории инструмента система использует трехмерную геометрическую модель обрабатываемой детали [1]. Основной в модели является точка. Все остальные примитивы привязаны к точкам. На рис. 1 показана структура такой модели детали.

Направляющими геометрическими примитивами система программирования станков использует точки, отрезки и дуги окружности. Точка в модели задается тремя координатами. Отрезки определяются начальной и конечной точками  $P_1$  и  $P_2$ . Дуга окружности определяется пятью точками:  $P_C$  – точка центра,  $P_1$  и  $P_2$  точки начала и конца дуги (при окружности  $P_1 = P_2$ ) и крайние точки  $E_1$  и  $E_2$ . Эти точки вместе с точкой центра определяют плоскость окружности и направление дуги окружности. Точки  $P_C$ ,  $E_1$  и  $E_2$  не должны находиться на одной прямой. В первой версии системы допустимы прямолинейные перемещения инструмента и по дуге окружности.

При проектировании траектории инструмента проектировщик из меню выбирает необходимый в данный момент тип направляющего примитива и вид ориентации линии перемещения инструмента относительно этого примитива. Система предусматривает следующие ориентации для прямолинейных переме-



щений: параллельно отрезку, перпендикулярно отрезку, в направлении точки, параллельно или под заданным углом к указанной координатной оси. Можно выбирать перемещение по дуге окружности, концентрично дуге модели обрабатываемой детали или вокруг заданной точки.

Направление и величина перемещения определяются путем выбора примитива, ограничивающего перемещение. Примитив, ограничивающий перемещение, это геометрический элемент, до которого перемещается инструмент. Проектировщик может перемещать инструмент "до этого примитива", "на примитив" или "за него".

Каждое проектируемое перемещение начинается с точки, где находится программируемая точка изображения инструмента.

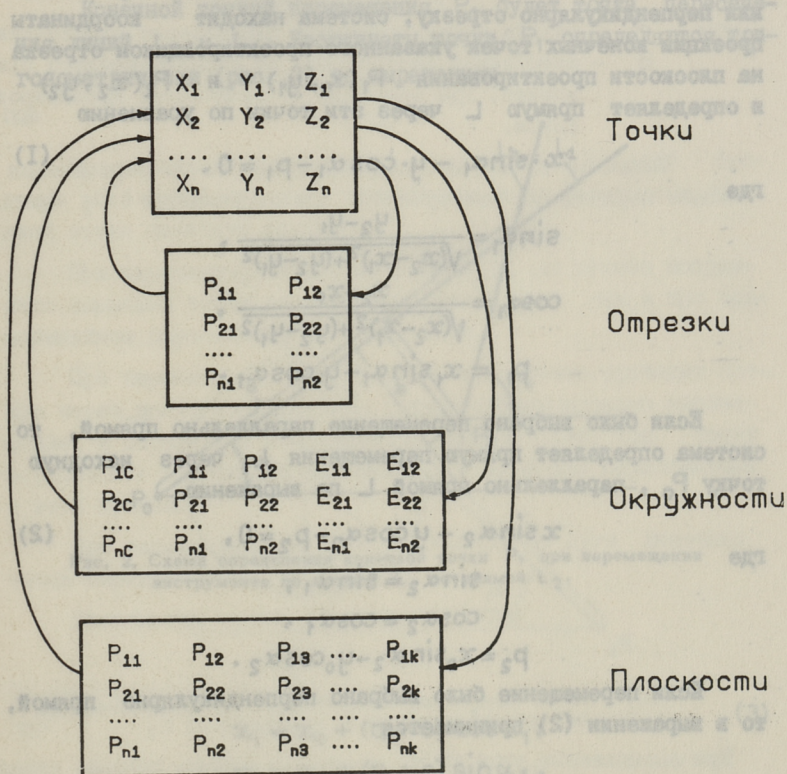


Рис. 1. Структура геометрической модели обрабатываемой детали.

Программист из меню выбирает тип направляющего примитива и вид ориентации линии перемещения относительно этого примитива. Если ориентация связана с каким-то графическим примитивом модели обрабатываемой детали, он указывает этот примитив. Система идентифицирует указанный примитив, находит точки, определяющие этот примитив, и определяет проекции этих точек на плоскость проектирования. Плоскостью проектирования является плоскость, параллельная плоскости экрана дисплея и проходящая через программируемую точку инструмента. Все расчеты, связанные с определением координат конечной точки перемещения, проводятся на этой плоскости.

При прямолинейном перемещении инструмента параллельно или перпендикулярно отрезку, система находит координаты проекции конечных точек указанного проектировщиком отрезка на плоскости проектирования  $P_1(x_1, y_1)$  и  $P_2(x_2, y_2)$  и определяет прямую  $L$  через эти точки по уравнению

$$x \cdot \sin \alpha_1 - y \cdot \cos \alpha_1 - p_1 = 0. \quad (I)$$

где

$$\sin \alpha_1 = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

$$p_1 = x_1 \sin \alpha_1 - y_1 \cos \alpha_1.$$

Если было выбрано перемещение параллельно прямой, то система определяет прямую перемещения  $L_1$  через исходную точку  $P_0$ , параллельно прямой  $L$  по выражению

$$x \sin \alpha_2 - y \cos \alpha_2 - p_2 = 0, \quad (2)$$

где

$$\sin \alpha_2 = \sin \alpha_1,$$

$$\cos \alpha_2 = \cos \alpha_1,$$

$$p_2 = x_0 \sin \alpha_2 - y_0 \cos \alpha_2.$$

Если перемещение было выбрано перпендикулярно прямой, то в выражении (2) принимается

$$\begin{aligned}\sin \alpha_2 &= \cos \alpha_1, \\ \cos \alpha_2 &= -\sin \alpha_1, \\ p_2 &= x_0 \sin \alpha_2 - y_0 \cos \alpha_2.\end{aligned}$$

Далее проектировщик указывает примитив, ограничивающий перемещение. Аналогично находит система проекцию ограничивающего примитива на плоскость проектирования. Затем проектировщик указывает приблизительное место конечной точки перемещения. Если необходимо, указывает расстояние инструмента до ограничивающего примитива  $d$ . Тем самым выбирает вариант перемещения до примитива, за примитив или на него.

Система определяет линию  $L_2$ , параллельную проекции ограничивающего перемещения примитива, через точку  $P_2$  на расстоянии  $d$  от последней.

Конечной точкой перемещения  $P_1$  будет точка пересечения линий  $L_1$  и  $L_2$ . Координаты точки  $P_1$  определяются тригонометрически (рис. 2) по выражениям

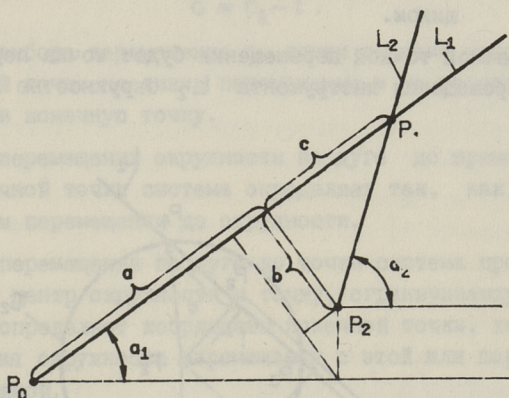


Рис. 2. Схема определения конечной точки  $P_1$  при перемещении инструмента по прямой  $L_1$  до прямой  $L_2$ .

$$\begin{aligned}x_1 &= x_0 + (a + c) \cos \alpha_1, \\ y_1 &= y_0 + (a + c) \sin \alpha_1,\end{aligned}\tag{3}$$

$$\begin{aligned} \text{где } a &= (x_2 - x_0) \cos \alpha_1 + (y_2 - y_0) \sin \alpha_1, \\ b &= (y_2 - y_0) \cos \alpha_1 - (x_2 - x_0) \sin \alpha_1, \\ c &= -\frac{\cos \alpha_2 \cos \alpha_1 + \sin \alpha_2 \sin \alpha_1}{\sin \alpha_2 \cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 \sin \alpha_1} b. \end{aligned}$$

При прямолинейном перемещении до окружности система проецирует эту окружность на плоскость проектирования. Если плоскость окружности перпендикулярна плоскости проектирования, система определяет координаты конечной точки как точки пересечения двух прямых. Если плоскость окружности параллельна плоскости проектирования, система определяет радиус  $r_2$  окружности  $C_2$

$$r_2 = r_1 + d,$$

где  $r_1$  - радиус ограничивающего перемещение окружности;  $d$  - расстояние инструмента до ограничивающего примитива, где значение  $d$  печатается проектировщиком.

Конечной точкой перемещения будет точка пересечения линии перемещения инструмента  $L_2$  окружностью  $C_2$  (рис.3)

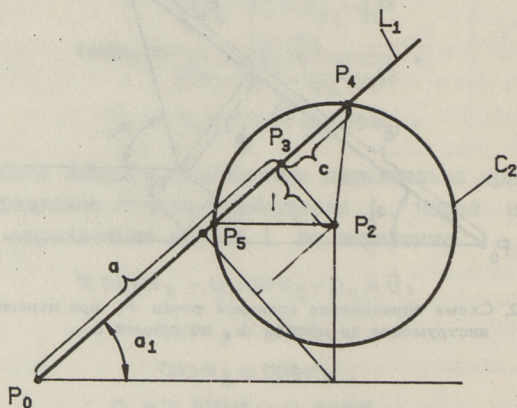


Рис. 3. Схема определения конечной точки  $P_4$  при перемещении инструмента по прямой  $L_1$  до окружности  $C_2$ .

При определении этой точки система в первую очередь определяет проекцию  $P_3$  центра окружности  $P_2$  на линию перемещения  $L_1$

$$a = (x_2 - x_0) \cos \alpha_1 + (y_2 - y_0) \sin \alpha_1$$

и координаты точки P

$$x_3 = x_0 + a \cos \alpha_1,$$

$$y_3 = y_0 + a \sin \alpha_1.$$

Далее определяется расстояние  $l$  центра окружности  $P_2$  от линии перемещения  $L_0$

$$l = x_2 \sin \alpha_1 - y_2 \cos \alpha_1 - (x_0 \sin \alpha_1 - y_0 \cos \alpha_1).$$

Если  $l = r_2$ , конечной точкой будет точка  $P_3$ .

Если  $l < r_2$ , конечной точкой будет точка  $P_4$  или  $P_5$ .

Какая из них, это определяет проектировщик. Координаты этих точек определяются

$$x_4 = x_3 + c \cos \alpha_1,$$

$$y_4 = y_3 + c \sin \alpha_1,$$

$$x_5 = x_3 - c \cos \alpha_1,$$

$$y_5 = y_3 - c \sin \alpha_1,$$

где

$$c = r_2 - l.$$

При выборе перемещения до точки система находит проекцию этой точки на линии перемещения и на расстоянии  $a$  от этой точки конечную точку.

При перемещении окружности по дуге до прямой координаты конечной точки система определяет так, как и при прямолинейном перемещении до окружности.

При перемещении по дуге до точки система проводит прямую через центр окружности и точку, ограничивающую перемещение, и определяет координаты конечной точки, как точку пересечения окружности перемещения с этой или параллельной с этой прямой.

При перемещении по дуге окружности до дуги конечная точка определяется согласно рис. 4.

Координаты точки  $P_4$  определяются:

$$x_4 = r_0 \cos \alpha_1 + x_1,$$

$$y_4 = r_0 \sin \alpha_1 + y_1.$$

где

$$\sin \alpha_1 = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}.$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}.$$

Если окружности  $C_0$  и  $C_2$  касаются, конечной точкой перемещения инструмента будет точка  $P_4$ .

Если окружности  $C_0$  и  $C_2$  имеют две точки пересечения, координаты этих точек определяются

$$\begin{aligned} x_5 &= x_1 + f \cos \alpha_1 - d \sin \alpha_1, \\ y_5 &= y_1 + f \sin \alpha_1 + d \cos \alpha_1, \\ x_6 &= x_1 + f \cos \alpha_1 + d \sin \alpha_1, \\ y_6 &= y_1 + f \sin \alpha_1 - d \cos \alpha_1, \end{aligned}$$

где

$$d = \sqrt{r_0^2 - f^2},$$

$$f = \frac{r_0 - r_3 + c}{2c},$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

При определении перемещений в пространстве, например, параллельно линии  $L_1$  до отрезка  $L_2$  (рис. 5), программист

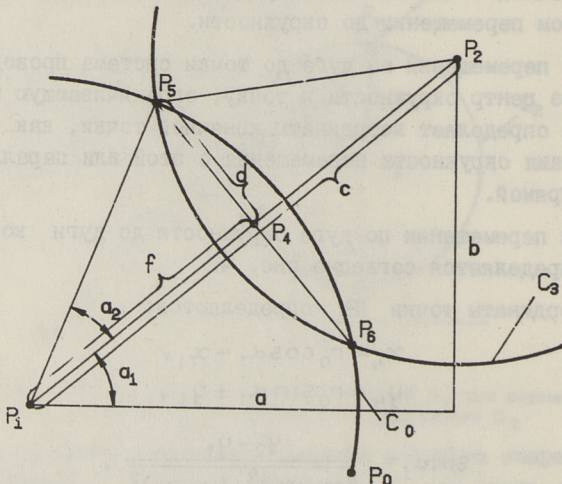


Рис. 4. Схема определения конечной точки  $P_5$  или  $P_6$  при перемещении инструмента по дуге окружности  $C_0$  до окружности  $C_3$ .

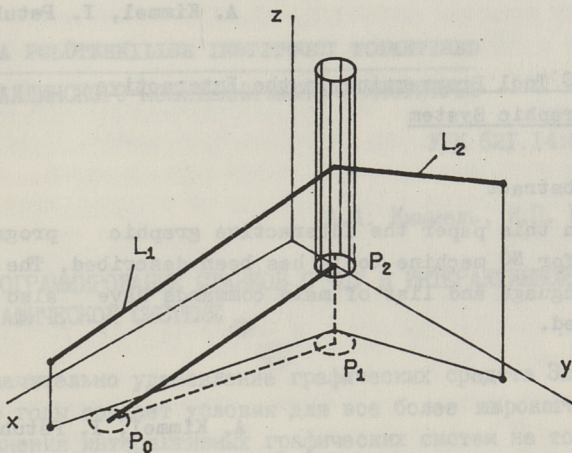


Рис. 5. Схема проектирования прямолинейных перемещений в пространстве.

выбирает плоскость проектирования. Целесообразно выбирать в качестве плоскости проектирования плоскость, перпендикулярную оси инструмента. В данном случае этой плоскостью является плоскость, параллельная плоскости  $x, y$ . Система проецирует отрезок  $L_1$  на плоскость и находит конечную точку  $P_1$  на этой плоскости. Затем проектировщик выбирает другой вид изображения, определяет перемещение до проекции отрезка на плоскости  $x, z$ . Направление перемещения, параллельно оси  $z$ , определено системой. Расстояние инструмента от линии  $L_1$  в точке  $P_2$  указывается равным расстоянию в точке  $P_0$ . Система выдает суммарное перемещение инструмента из точки  $P_0$  в точку  $P_2$ . Таким образом, можно программировать в пространстве любые прямолинейные перемещения инструмента.

### Л и т е р а т у р а

1. G i l o i W.K. Interactive computer graphics. New Jersey, 1978. P. 354.

A. Kimmel, I. Petukhov

NC Tool Programming in the Interactive  
Graphic System

Abstract

In this paper the interactive graphic programming system for NC machine tools has been described. The interface language and list of main commands have also been presented.

A. Kimmel, I. Petuhhov

Instrumentide liikumiste projekteerimise algoritm  
interaktiivses masinraafikasüsteemis

Kokkuvõte

Artiklis tuuakse instrumendi liikumiste trajektoori määramise algoritm interaktiivses masinraafikasüsteemis. Antakse skeemid ja valemid instrumendi üksikute liikumiste lõpppunktide arvutamiseks.



А.А. Киммель, И.П. Петухов

ПРОГРАММИРОВАНИЕ СТАНКОВ С ЧПУ В ИНТЕРАКТИВНОЙ  
ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Значительно удешевление графических средств ЭВМ в последние годы создает условия для все более широкого распространения интерактивных графических систем не только в конструкторском деле, но и в технологической подготовке производства. Одной из таких областей, где целесообразно использовать машинную графику, является проектирование управляющих программ для станков с ЧПУ.

Интерактивная машинная графика обеспечит общение с помощью изображений и следовательно, самым существенным образом облегчит взаимодействие человека с ЭВМ [1]. Процесс проектирования станет более наглядным, когда каждое действие проектировщика проверяется машиной и результат сразу изображается на экране графического дисплея. Возможность наблюдать за изображениями детали и инструмента с разных направлений дает полное представление о взаимном расположении обрабатываемой детали и инструмента. С другой стороны, упрощается и сама система проектирования. Имея на экране дисплея хотя и весьма упрощенную схему рабочей зоны станка, можно легко визуальным образом определить точки столкновения инструментов или суппортов с частями станка или приспособлениями, тем самым отпадает необходимость создания весьма сложной и не очень надежной программной проверки столкновения инструментов и выхода их за пределы рабочей зоны станка.

Традиционная система автоматизации программирования (САП) станков с ЧПУ состоит из трех частей: описание геометрии детали, проектирование перемещений инструментов и включение в управляющую программу технологических команд.

При создании интерактивной системы программирования станков с ЧПУ целесообразно не включать составление геометрической модели обрабатываемой детали в САП, а использовать для этой цели систему автоматизированного проектирования изделий, которая имеет все необходимые средства геометрического моделирования. Такой путь, с одной стороны, значительно упрощает САП, а с другой стороны, дает возможность объединить в одну логическую цепь всю техническую подготовку производства. Чертеж, однажды составленный конструктором на ЭВМ, используется технологом для разработки технологического процесса, в том числе и для программирования станков с ЧПУ.

Интерактивная графическая система программирования станков с ЧПУ, разработанная в Таллинском политехническом институте, на входе использует графическую модель обрабатываемой детали, представленную в соответствии с требованиями международного стандарта IGES, а выход на стандартном языке CLDATA. Такой подход позволяет использовать на входе системы графические модели обрабатываемых деталей, составленных разными автоматизированными системами конструирования. Стандартный выход на языке CLDATA дает возможность использовать широкий круг имеющихся постпроцессоров для разных станков с ЧПУ.

Хотя на входе системы используется графическая модель детали, составленная конструктором, как правило, эту модель прямо использовать для проектирования управляющей программы нельзя. Не все поверхности детали обрабатываются на данном станке окончательно, следовательно, необходимо оставить припуски на дальнейшую обработку. Как правило, конструкторские и технологические базы не совпадают, а замена баз, как известно, влечет за собой переназначение допусков, которое, в свою очередь, связано с расчетами размерных цепей. Эти действия неизбежны при любом способе программирования. Эти задачи должен решить блок проектирования технологических процессов. В данный момент эти действия выполняются технологом. Соответственно корректируют модель детали, используя при этом интерактивную систему конструирования.

Самым ответственным действием на указанном этапе является проверка самого чертежа. Дело в том, что САП рассчитывает координаты положения инструмента относительно графических примитивов модели обрабатываемой детали автоматически. Для получения правильной управляющей программы необходимо, чтобы координаты опорных точек в геометрической модели обрабатываемой детали были заданы точно, с учетом не только номинальных размеров, но и расположения полей допусков.

Интерактивная система программирования станков с ЧПУ выполняет следующие основные действия: выбор станка и приспособления, определение места точки начала обработки, выбор инструмента, проектирование перемещений инструментов, включение в управляющую программу технологических команд и расчет режимов резания.

Кроме основных действий, заложенных в систему, выполняются вспомогательные действия: изображение различных видов изделия – вид сверху, вид слева, вид спереди и изометрическое изображение, увеличение и уменьшение масштаба, перемещение изображения на экране. Предусмотрен ряд операций для организации архивов станков, наладок и инструментов.

Командный язык управления системой реализован в виде трехуровневого иерархического меню. Необходимые команды системы по мере необходимости проектировщик выбирает из меню. Выбор из меню освобождает проектировщика от соблюдения строгих грамматик, свойственных текстовым языкам. Вследствие этого значительно уменьшается возможность возникновения ошибок при разработке управляющих программ. Язык типа меню превращает систему в сравнительно легко изучаемую и удобную в эксплуатации.

Основная задача в системе программирования станков – проектирование перемещений инструментов. Перемещение инструмента в настоящей системе проектируется по следующей схеме. В первую очередь проектировщик выбирает из меню команду, определяющую тип линии перемещения инструмента и вид ее ориентации. Затем на экране дисплея указывается, если это требуется, графический примитив модели обрабатываемой детали, относительно которой система должна ориентировать в пространстве линию, по которой перемещается инструмент.

После этого определяется направление и величина перемещения инструмента. Для этого проектировщик указывает на экране дисплея графический примитив, относительно которого система рассчитывает координаты конечной точки перемещения инструмента. Проектировщик может назначать конечную точку на указанный примитив до или за него на заданное расстояние.

В первой версии системы реализованы команды проектирования перемещений по прямой линии и по дуге окружности.

Прямые можно ориентировать относительно графических примитивов геометрической модели обрабатываемой детали или относительно координатных осей. Их можно ориентировать параллельно или перпендикулярно прямой, параллельно или под заданным углом к координатным осям, в направлении имеющейся в модели детали точки, или в направлении свободно выбранной точки на экране дисплея.

Дугу окружности, по которой перемещается инструмент, можно определить концентрично дуге окружности модели детали или задавать точку, являющуюся центром дуги перемещения инструмента.

Ограничивающим перемещение примитивом может быть прямая, окружность (или ее дуга) или точка.

Выбор из меню управляется устройством ввода типа "мышь". Это же устройство используется и для указания графических примитивов на экране дисплея. Клавиатура требуется только для задания величин, для которых точность дисплея слишком мала. Например, для определения расстояний эквидистант и для уточнения координат некоторых точек.

При возникновении ошибок при проектировании перемещений имеется возможность удалить или заменить неправильно спроектированные участки траектории инструмента. Стирать можно как последнее спроектированное перемещение, так и перемещения в любом месте траектории.

При необходимости проектирования повторяющихся участков перемещений, на экране дисплея на изображении траектории проектировщик указывает начало и конец такого участка (цикла) и точку, начиная с которой этот участок должен повторяться. Система, начиная с указанной точки повторяет

все перемещения в указанном интервале, сохраняя для каждого из них направление и величину. Одновременно переносятся и технологические команды, встречающиеся на указанном участке.

Кроме команд перемещений, управляющая программа содержит технологические команды, например, включить шпиндель, включить подачу и т.д. Для включения в управляющую программу технологических команд проектировщик выбирает из меню наименование соответствующей команды. Для определения места включаемой технологической команды в управляющей программе проектировщик указывает на изображении траектории перемещение, перед выполнением которого на станке должна находиться данная технологическая команда. При включении технологической команды, после указания перемещения система рассматривает всю составленную программу до указанной точки и в качестве справки выдает технологическое состояние станка, т.е. в каком состоянии находится шпиндель, подача, охлаждение и т.д.

Технологические команды можно включить или исключить в любой стадии проектирования.

Для проверки составленной программы имеется команда имитации работы станка.

Вспомогательной командой можно напечатать на экран дисплея значения координат любой точки.

Система работает в среде операционной системы UNIX.

## Л и т е р а т у р а

И. Ш п у р Г., Краузе Ф.-Л. Автоматизированное проектирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988. 648 с.

A. Kimmel, I. Petuhov

Algorithm of Tool Path Programming in  
the Interactive Graphic System

Abstract

In this paper the algorithm of tool path programming in the interactive graphic system has been described.

Formulae for determining the coordinate values for tool positions have been given.

A. Kimmel, I. Petuhov

Arvprogrammjuhtimisega pinkide programmeerimine  
interaktiivses masingraafikasüsteemis

Kokkuvõte

Artiklis käsitletakse NC pinkide programmeerimise interaktiivset süsteemi. Samuti kirjeldatakse suhtlemiskeelt, süsteemi põhilisi käsked ja inimese-masina dialoogi.

## ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ

В статье рассматриваются проблемы разработки экспертных систем, приводится объяснение и пример работы разработанной экспериментальной оболочки экспертных систем "e1".

В современном производстве все чаще встречаются ситуации, где технолог или конструктор изделия не в состоянии принять соответствующие решения и нуждается в совете или помощи "старшего товарища", т.е. высококвалифицированного специалиста – эксперта технолога. Можно выделить следующие причины возникновения таких ситуаций.

1. Все усложняющийся процесс изготовления деталей повышает требование на комплексность и оптимальность принятых решений.

2. Требующиеся темпы изменения производства ведут к недостатку времени для принятия комплексных и оптимальных технологических решений.

3. Принцип технологичности диктует необходимость принятия квалифицированных технологических решений уже на уровне конструирования изделий.

Решить указанную выше проблему увеличением числа высококвалифицированных специалистов практически невозможно и экономически невыгодно. Поэтому в настоящее время очень остро встал вопрос о придании системам автоматизированного проектирования технологических процессов свойства принятия решений, т.е. расширить возможности ЭВМ и научить их заниматься проблемами, которые долгое время оставались прерогативой высококвалифицированных специалистов. Такое программное обеспечение ЭВМ, разработанное по принципу теории искусственного интеллекта, начали называть "экспертная система".

Экспертная система должна иметь ряд свойств, при которых ее внедрение было бы практически полезным и работа с ней оказалась бы более удобной, не требующей дополнительных затрат времени на обучение. В данной работе выделено шесть таких свойств.

1. Качество принимаемых решений. Оно должно быть не ниже уровня высококвалифицированного технолога.

2. Эргономичность системы. Система должна быть удобной для пользователя. Она должна быть в состоянии управлять ходом работы, давать информацию о предметной области, объяснять и оправдывать свои действия при принятии решений, учитывая при этом различный уровень знаний пользователей.

3. Экономичность работы системы. Объем используемой базы знаний и диалог для введения требуемых исходных данных (количество и сущность представленных вопросов и объяснений) должны быть гибко связаны с решаемой задачей. Механизм выбора и принятия решений должен пользоваться методами ускоренного поиска решений.

4. Механизм выбора и принятия решений в системе должен занимать минимальный объем памяти, чтобы большая часть осталась для ввода различных данных и знаний о предметной области решаемой задачи.

5. Система должна обеспечивать возможность через различные запросы максимально использовать введенные знания. При этом количество различных запросов станет критерием оценки "мудрости" системы.

6. Система должна быть легко дополнима и иметь способность к развитию.

Общая идея создания экспертных систем состоит в том, чтобы сосредоточить все методические и логические приемы (эвристика) решения задач и общие процедуры, используемые при решении задач (например, формулирование вопросов для пользователя, реализация ответов на вопросы почему? Как получен ответ? и т.д.) в одну совокупность программ для ЭВМ, т.н. оболочку экспертной системы (expert system shell). Все знания и эвристика использования этих знаний, принадлежащих конкретной задаче, представляется в базе знаний (knowledge base) экспертной системы. База зна-



ний имеет определенный синтаксис, понимаемый оболочкой, но в остальном она независима от оболочки экспертной системы. Подробное представление о природе и развитии экспертных систем предложено в литературе [1, 2, 3].

Создание экспертной системы начинается с разработки базы знаний. Оболочка "e1" может работать с базой знаний, в которой знания имеют вид (см. пример. Пример приведен на английском языке, так как система, к сожалению, может использовать только латинский алфавит):

правилаX: если Условие1 и  
(Условие2 или Условие3)  
тогда Решение1 иначе  
Решение2.

где "и" - оба условия (Условие1 и (Условие2 или Условие3)) должны быть истинны, тогда Решение1 истинно;

"или" - одно из условий (Условие2 или Условие3) должно быть истинным, и если Условие1 истинно, тогда Решение1 истинно;

"иначе" - если условие (Условие1 и (Условие2 или Условие3)) ложно, тогда Решение1 ложно и истинным станет Решение2.

База знаний может содержать также факты (факт : авто-марка равно 'Lada 2105') и ограничения для допустимых величин переменных (количество бензина может\_быть от 0 до 40; возможность\_заправки может\_быть [да, нет]).

Оболочка экспертной системы состоит из системного интерфейса, управляющей структуры (механизма выбора и принятия решений), интерфейса для пользователя, базы помогающих экспертных процедур.

Системный интерфейс обеспечивает разработчику системы, т.н. инженеру знаний (knowledge engineer), доступ ко всем компонентам системы для введения изменений и исправлений. Системный интерфейс является также инструментом для создания новых баз знаний. Эта работа проводится совместно со специалистом-экспертом предметной области.

Основным компонентом оболочки экспертной системы является управляющая структура (inference engine). Это про-

грамма ЭМ, которая способна находить логическое следствие из всей совокупности имеющихся в базе знаний правил. Экспертные системы осуществляют свои логические выводы по разным методам. Данная система использует метод обратного поиска (backward chaining) (см. ответ на вопрос как?). Метод обратного поиска устанавливает, из истинности каких суждений непосредственно следует истинность "Решение" ("Решение" содержит искомую переменную X, см. пример). Для этого нужно найти правила, в которых "Решение" стоит в правой части выражений. Затем рассматриваются левые части отобранных правил (комбинации условий), выясняется, как можно установить их истинность. Это продолжается до тех пор, пока не станет известно, истинны они или ложны.

Интерфейс пользователя определяет удобство использования системы. Он позволяет также дополнительно использовать знание из базы знаний. Удобство использования системы гарантируется, во-первых, реализацией корректного и однозначного диалога и, во-вторых, использованием, как можно совершенного, механизма объяснений и оправданий деятельности системы.

Дополнительное использование знаний и механизм объяснений и оправданий реализуется с помощью вспомогательных экспертных процедур. В системе "e1" реализованы 24 такие процедуры (см. ответ на вопрос помощи!). Кроме там представленных, система имеет способность декларировать свои возможности при решении задачи, является самообучающейся, может работать на многих языках латинского алфавита и понимает указания "с полуслова").

Необходимо уточнить, что приведенная база знаний является примерной и не претендует на адекватность с реальными знаниями рассматриваемой предметной области.

Работоспособность и соответствие разработанной экспериментальной оболочки "e1" представленным требованиям проверена реализацией следующих экспертных систем:

1. Выбор (с использованием типовых решений) способа обработки поверхностей литых пластмассовых изделий.

2. Анализ и контроль зубчатых колес.

3. Выбор (путем генерации) последовательностей методов обработки элементарно обрабатываемых поверхностей.

Проведенная работа показывает, что рассматриваемый метод хорошо подходит к автоматизации процессов принятия решений. Самыми сложными оказываются при этом вопросы сбора и формализации квалифицированных знаний. Здесь предстоит большая работа сначала для разъяснения предлагаемых возможностей специалистам-экспертам предметной области, а затем совместная работа с ними при создании работоспособных экспертных систем.

#### Л и т е р а т у р а

И. М и ч и Д., Дж о н с т о н Р. Компьютер - творец : Пер. с англ./ Предисл. Д.А. Поспелова. М.: Мир, 1987. 255 с.

2. G e r a r t e r W.B. The nature and evaluation of commercial expert system building tools // Computer. May 1987.

3. Э л т и Дж., К у м б с М. Экспертные системы: концепции и примеры / Пер. с англ. и предисл. В.И. Шитикова. М.: Финансы и статистика, 1987. 191 с.

## База знаний для экспертной системы

```
car_make can_be ['M-2140', 'Lada-2101', 'Lada-2105'].
possibility_to_tank can_be [yes,no].
quantity_of_petrol can_be_from 0 to 40.
driving_place can_be [town,country].
fact : car_make equal 'Lada-2105'.
possibility_to_arrive abridge p_a.

rule1 : if petrol_level less 0 and
        possibility_to_tank equal no
        then possibility_to_arrive isa improbable else
        possibility_to_arrive isa probable.

rule2 : if quantity_of_petrol known and
        petrol_spending known
        then petrol_level are (quantity_of_petrol - petrol_spending).

rule3 : if distance known and
        petrol_ration known
        then petrol_spending are (distance/100)*petrol_ration.

rule4 : if car_make equal 'M-2140'
        then unit_ration are 7.9.

rule5 : if car_make equal 'Lada-2101' or
        car_make equal 'Lada-2105'
        then unit_ration are 7.2.

rule7 : if unit_ration known and
        driving_place equal town,
        then petrol_ration are (unit_ration * 1.5) else
        petrol_ration are (unit_ration * 1).

% petrol_level => 1.
% quantity_of_petrol => 1.
% petrol_spending => 1.
% distance => km.
% petrol_ration => 1/100 km.
% unit_ration => 1/100 km.
```

Протокол работы экспертной системы  
(Все, что подчеркнуто, это работа пользователя)

Hallo ! You are working with Expert System written in Prolog.

The dialogue will be in English. Do you want to change it into Estonian  
Please, input the language or no => n.

The system can investigate following:

```
=> possibility_to_arrive;           => petrol_level;
=> petrol_spending;                => unit_ration;
=> petrol_ration;
```

Please, input the variable which must be investigated => help.

In the course of work you may ask the system to :

- give instruction (by => help) ;
  - justify why the information was asked (by => why/w) ;
  - explain how the solution was achieved (by => how/h) ;
  - look up the errand of mathematical task (by => errand/e) ;
  - introduce the activated knowledge base (by => introduce/i) ;
  - issue all allowable responses (by => option/o) ;
  - change the known value of variable (by => change/c) ;
  - investigate if there is any other solution (by => more/m) ;
  - issue the knowledge base (by => base/b) ;
  - issue all found solutions (by => solution/s) ;
  - issue all available variables (by => variable/v) ;
  - issue all used rules (by => rule/r) ;
  - work with unknown variables (by => unknown/u) ;
  - give information about asked variable (by => what "Variable") ;
  - work with uncertain variable (by => "Variable" cf CF) ;
- 
- call text editor menu (by => vedit) ;
  - call PROLOG (by => prolog) ;
  - call UNIX (by => unix) ;
  - abort the current execution (by => abort) ;
  - exit from the system (by => exit) .

Press the RETURN Key =>

Please, input the variable which must be investigated => p\_a.

Please, input the value of variable quantity\_of\_petrol => 50.

Sorry, 50 is not a legal response to this question.

Your response must be chosen from among :

=> 0 to 40;

Please, input the value of variable quantity\_of\_petrol => 30.

Please, input the value of variable distance => why.

The value of variable "distance" can be used to investigate if the rule "rule3" is true

```
rule3 : if distance known and
        petrol_ration known
        then petrol_spending are distance/100*petrol_ration ;
```

The value of variable "petrol\_spending" can be used to investigate if the rule "rule2" is true

```
rule2 : if quantity_of_petrol known and
        petrol_spending known
        then petrol_level are (quantity_of_petrol-petrol_spending) ;
```

The value of variable "petrol\_level" can be used to investigate if the rule "rule1" is true

```
rule1 : if petrol_level less 0 and
        possibility_to_tank equal no
        then possibility_to_arrive isa improbable else
        possibility_to_arrive isa probable ;
```

Variable "possibility\_to\_arrive" asked to be investigated \*\*

Please, input the value of variable distance => 500.

Please, input the value of variable driving\_place => option.

Your response must be chosen from among :  
=> [town,country];

Please, input the value of variable driving\_place => country.  
Please, input the value of variable possibility\_to\_tank => yes cf 80

\*\*\*\*\*

Conclusion for the task you gave is following:  
=> possibility\_to\_arrive isa probable with cf 80

Have you any special orders ? Please input this order/or no => e.

The errand of the mathematical task is following

=>  $7.2 = 7.2 = 7.2$   
=>  $\text{unit\_ration} = 7.2 = 7.2$   
=>  $1 = 1 = 1$   
=>  $\text{unit\_ration} * 1 = 7.2 * 1 = 7.2$   
=>  $\text{distance} = 500 = 500$   
=>  $100 = 100 = 100$   
=>  $\text{distance}/100 = 500/100 = 5$   
=>  $\text{petrol\_ration} = 7.2 = 7.2$   
=>  $\text{distance}/100 * \text{petrol\_ration} = 500/100 * 7.2 = 36$   
=>  $\text{quantity\_of\_petrol} = 30 = 30$   
=>  $\text{petrol\_spending} = 36 = 36$   
=>  $\text{quantity\_of\_petrol} - \text{petrol\_spending} = 30 - 36 = -5.99997$

Have you any special orders ? Please input this order/or no => how.

The answer to the question "how" is following:

Variable "possibility\_to\_arrive" was asked  
A fact => "car\_make equal Lada-2105" was found  
Variable "possibility\_to\_arrive" was tried to be found  
by the rule "rule1"  
rule1 : if petrol\_level less 0 and  
possibility\_to\_tank equal no  
then possibility\_to\_arrive isa improbable else  
possibility\_to\_arrive isa probable ;  
Variable "petrol\_level" was needed  
Variable "petrol\_level" was tried to be found by the rule "rule2"  
rule2 : if quantity\_of\_petrol known and  
petrol\_spending known  
then petrol\_level are (quantity\_of\_petrol - petrol\_spending) ;  
Variable "quantity\_of\_petrol" was needed  
The value "quantity\_of\_petrol = 30" was asked by the question  
"Please input the value of variable quantity\_of\_petrol"  
Variable "petrol\_spending" was needed  
Variable "petrol\_spending" was tried to be found by the rule "rule3"  
rule3 : if distance known and  
petrol\_ration known  
then petrol\_spending are distance/100\*petrol\_ration ;  
Variable "distance" was needed  
The value "distance = 500" was asked by the question  
"Please input the value of variable distance"  
Variable "petrol\_ration" was needed

Variable "petrol\_ration" was tried to be found by the rule "rule7"  
 rule7 : if unit\_ration known and  
           driving\_place equal town  
           then petrol\_ration are unit\_ration\*1.5 else  
           petrol\_ration are unit\_ration\*1 ;

Variable "unit\_ration" was needed  
 Variable "unit\_ration" was tried to be found by the rule "rule4"  
 rule4 : if car\_make equal M-2140  
           then unit\_ration are 7.9 ;

Variable "unit\_ration" was tried to be found by the rule "rule5"  
 rule5 : if car\_make equal Lada-2101 or  
           car\_make equal Lada-2105  
           then unit\_ration are 7.2 ;

Variable "unit\_ration" was derived by rule "rule5"  
 rule5 : if car\_make equal Lada-2101 or  
           car\_make equal Lada-2105  
           then unit\_ration are 7.2 ;

Variable "driving\_place" was needed  
 The value "driving\_place = country" was asked by the question  
 "Please input the value of variable driving\_place"  
 The condition "unit\_ration known and driving\_place equal town"  
           failed and  
           the else "petrol\_ration are unit\_ration\*1" was used

Variable "petrol\_spending" was derived by rule "rule3"  
 rule3 : if distance known and  
           petrol\_ration known  
           then petrol\_spending are distance/100\*petrol\_ration ;

Variable "petrol\_level" was derived by rule "rule2"  
 rule2 : if quantity\_of\_petrol known and  
           petrol\_spending known  
           then petrol\_level are (quantity\_of\_petrol-petrol\_spending) ;

Variable "possibility\_to\_tank" was needed  
 The value "possibility\_to\_tank = yes cf 80" was asked by the question  
 "Please input the value of variable possibility\_to\_tank"  
 The condition "petrol\_level less 0 and possibility\_to\_tank equal no"  
           failed and  
           the else "possibility\_to\_arrive isa probable" was used  
           The solution "possibility\_to\_arrive isa probable" was found \*\*

Have you any special orders ? Please input this order/or no => c.

During the execution following solutions were found :

```
=> possibility_to_arrive value is probable cf 80;
=> possibility_to_tank value is yes cf 80;
=> petrol_level value is -5.99997 cf 100;
=> petrol_spending value is 36 cf 100;
=> petrol_ration value is 7.2 cf 100;
=> driving_place value is country cf 100;
=> unit_ration value is 7.2 cf 100;
=> distance value is 500 cf 100;
=> quantity_of_petrol value is 30 cf 100;
=> car_make value is Lada-2105;
```

Please, input the variable which must be change (or no) =>  
   possibility\_to\_tank.  
 Please, input the value of variable possibility\_to\_tank => no.  
 Do you want to re-run the task (yes/no) => y.

\*\*\*\*\*

Conclusion for the task you gave is following:

=> possibility\_to\_arrive isa improbable with cf 100

Have you any special orders ? Please input this order/or no => s.

During the execution following solutions were found :

- => possibility\_to\_arrive value is improbable cf 100;
- => petrol\_level value is -5.99997 cf 100;
- => possibility\_to\_tank value is no cf 100;
- => petrol\_spending value is 36 cf 100;
- => petrol\_ration value is 7.2 cf 100;
- => driving\_place value is country cf 100;
- => unit\_ration value is 7.2 cf 100;
- => distance value is 500 cf 100;
- => quantity\_of\_petrol value is 30 cf 100;
- => car\_make value is Lada-2105;

Have you any special orders ? Please input this order/or no => no.

This was the answer.

To You want to carry on with this task? (yes/no) => n.

The work is finished now. Good-bye !



Ü. Kannelmäe

## Expert Systems

### Abstract

The purpose of the paper is to introduce an experimental expert system shell "e1".

The creation of expert systems is started with building a knowledge base, containing facts and rules about some particular application or problem domain. After the knowledge base is constructed, expert system shell "e1" can engage a user in a question-and-answer consultation about the application chosen. During or after a consultation, the user can request explanation of the system's reasoning process, ask the system to justify its conclusion, look up the errand of mathematical operations etc.

An example of work is presented in English.

Ü. Kannelmäe

## Ekspertsüsteemid

### Kokkuvõte

Artiklis on käsitletud ekspertsüsteemide loomisega seotud küsimusi. On esitatud ekspertsüsteemi teabebaasi näide ning välja töötatud ekspertsüsteemi tuuma töö protokoll.

## С о д е р ж а н и е

1. Р. Кютнер, Ю. Рийвес, Ю. Анвельт. Основы разработки производственных процессов для интегрированных технологических систем ..... 3
2. Р. Кютнер, Ю. Рийвес. Принципы разработки и функционирования селектора деталей..... 17
3. Р. Рандла. Основные задачи системы оперативного планирования инструментального хозяйства в ГПС.. 26
4. Ю. Папстел. Модель выбора режущего инструмента в условиях автоматизированного проектирования.. 39
5. А. Киммель, И. Петухов. Алгоритм проектирования перемещений инструмента в интерактивной графической системе..... 46
6. А. Киммель, И. Петухов. Программирование станков с ЧПУ в интерактивной графической системе..... 55
7. Ю. Каннельмяэ. Экспертные системы..... 61



№ 68I

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Машиностроение XXVII

УДК 68I.3.06:658.52.01I.56

Основы разработки производственных процессов для интегрированных технологических систем. Кюттнер Р.А., Рийвес Ю.Э., Анвельт Ю.Ю. - Труды Таллинского политехнического института, 1988, № 68I, с. 3-16.

В статье рассмотрены вопросы разработки методики для повышения эффективности выполнения производственных процессов в условиях ГПС. С этой целью разработана четырехуровневая схема проектирования, состоящая из следующих основных блоков:

- база структур ГПС,
- селектор деталей,
- САПР-ТП,
- моделирование работы ГПС.

Описаны критерии эффективности обработки группы заданных деталей в ГПС. Приведены условия, влияющие на составление обрабатываемых деталей. Принципы представленной методики проверены и проиллюстрированы на примерах. Методика является основой реализации инструментальных средств программирования, поддерживающих САПР-ТП в случае ГПС различной структуры.

Таблиц - I, рисунков - 4, библиографических наименований - II.



УДК 658.512.4-52

Принципы разработки и функционирования селектора деталей. Кюттнер Р.А., Рийвес Ю.Э. - Труды Таллинского политехнического института, 1988, № 681, с. 17-25.

В статье рассматриваются вопросы предварительного селектирования деталей для их обработки в ГПС. Приведена многоэтапная процедура для формирования групп обрабатываемых деталей. Описано содержание этапов и представлены некоторые критерии подбора деталей на примере системы смены и хранения инструментов.

Рисунков - 5, библиографических наименований - 5.

УДК 658.52.011.56.012.3

Основные задачи системы оперативного планирования инструментального хозяйства в ГПС. Рандла Р. - Труды Таллинского политехнического института, 1988, № 681, с. 26-38.

В статье рассматриваются основные задачи оперативного планирования инструментального хозяйства (ОПИХ) в ГПС. Система ОПИХ тесно взаимосвязана с системами оперативного планирования технологического процесса (ОПТП), оперативно-го управления обеспечения инструментами (ОУОИ) и с системой автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР-ТП). ОПИХ и ОПТП входят в систему оперативного планирования ГПС, где последнее занимает ведущее место.

Приведены некоторые примеры ввода-вывода системы ОПИХ. Более подробно описаны временные и численные модели системы обеспечения инструментами (СОИ), как важные поддерживающие средства реализации ОПИХ.

Таблиц - 1, рисунков - 3, библиографических наименований - 7.

УДК 621.9.02.001.37:621.9.06.529

Модель выбора режущего инструмента в условиях автоматизированного проектирования. Папостел Ю.В. - Труды Таллинского политехнического института, 1988, № 681, с. 39-45.

Предлагается модель выбора режущего инструмента, согласно которой выбирается подмножество режущих инструментов, обеспечивающих заданное качество поверхности. На втором этапе проходит окончательный выбор инструмента в учетом конкретных ограничений. Такой подход дает возможность разработать обобщенную подсистему выбора инструмента. Для практического применения необходимо подсистему связать с конкретным предприятием с их граничными условиями.

Рисунков - 2, библиографических наименований - 4.

УДК 621.14:658.512

Алгоритм проектирования перемещений инструмента в интерактивной графической системе. Киммель А.А., Петухов И.П. - Труды Таллинского политехнического института, 1988, № 681, с. 46-54.

В статье приводится алгоритм определения траектории перемещения инструмента в интерактивной графической системе программирования станков с ЧПУ. Описана геометрическая модель обрабатываемой детали и представлены формулы определения координат позиционирования инструмента относительно детали.

Рисунков - 5, библиографических наименований - 1.

УДК 621.14:658.512

Программирование станков с ЧПУ в интерактивной графической системе. Киммель А.А., Петухов И.П. - Труды Таллинского политехнического института, 1988, № 681, с. 55-60.

В статье приводится описание интерактивной графической системы программирования станков с ЧПУ. Описан диалог человек-ЭВМ при составлении управляющих программ для станков.

Библиографических наименований - 1.

УДК 921.9.015.001.5

Экспертные системы. Каннельмяэ Ю.Э. - Труды  
Таллинского политехнического института, 1988,  
№ 681, с. 61-71.

В данной работе рассматриваются вопросы разработки  
экспертных систем, приводятся примерная база знаний и  
протокол работы экспериментальной оболочки экспертных си-  
стем "el".

Библ. наименований - 3.



Цена 75 коп.

EESTI AKADEEMILINE RAAMATUKOGU



1 0200 00082449 4