

СОВЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ЭСТОНСКОЙ ССР
Таллинский технологический институт

СБОРНИК
РУКОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ
ПО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ
И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЮ

ТАЛЛИН 1965

1 XI
A-12188

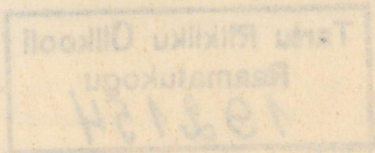
СОВЕТ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ЭСТОНСКОЙ ССР

Таллинский технологический институт

УДК 681.142.323:621.9.071

УДК 621.9.01:518.5

СБОРНИК
РУКОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ
ПО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ
И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЮ



Центральное бюро технической информации

Таллин 1965

СОДЕРЖАНИЕ

1. АРИСТЕ А.П., КЕСС Ю.Ю., ТЛУТУ Э.Х. Вычислительная машина для расчёта режимов резания и нормирования труда-СТЭМ 3
2. КЕСС Ю.Ю. Применение специализированных электронно-вычислительных машин при автоматизации проектирования технологии обработки металлов резанием 15
3. ТЛУТУ Э.Х. Учет случайных факторов при определении оптимальных элементов технологии 29
4. ТАНИ Х.И. О возможности механизации кодирования машиностроительных чертежей 39

Tartu Riikliku Ollikooli
Raamatukogu
192154

Аристе А.П.

Кесс Ю.Ю.

Тыугу Э.Х.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА
ДЛЯ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ
И НОРМИРОВАНИЯ ТРУДА
- СТЭМ

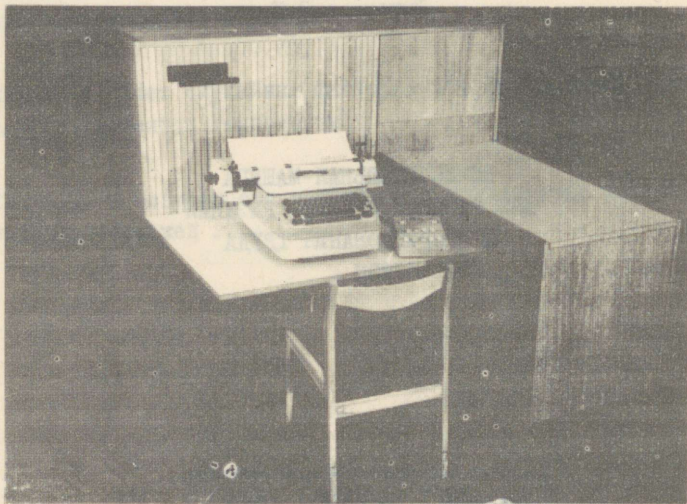


Рис. I. Вычислительная машина СТЭМ.

Составление технически обоснованных норм и оптимальных режимов резания в настоящее время имеет важное народнохозяйственное значение как внутренний резерв повышения производительности труда. Единственным путем успешного решения этих задач, требующих большого объема вычислительных работ и напряжения инженерно-технической мысли, является применение современной вычислительной техники.

Существующие вычислительные машины непрерывного действия, предназначенные для расчета режимов резания (ВППР-2, МНП-2), имеют существенные недостатки, главными из которых являются:

- а) малая производительность;
- б) необходимость ручной записи результатов вычислений;
- в) необходимость дополнительного ручного расчета ряда величин;
- г) невозможность работать в паре с итоговым перфоратором.

В Научно-исследовательском электротехническом институте для расчета режимов резания и нормирования труда разработана и изготовлена цифровая вычислительная машина СТЭМ (рис. I).

Вычислительная машина СТЭМ может быть с успехом использована в отделах труда и заработной платы, в технологических отделах машиностроительных заводов, а также в других организациях, занимающихся проектированием технологии и нормированием труда механической обработки.

Машина СТЭМ вычисляет режимы резания, нормы времени и расценки для работ (за исключением резьбонарезных), выполняемых на токарных, сверлильных, фрезерных, карусельных, расточных и револьверных станках.

Для каждого перехода вычисляются скорость и мощность резания, число оборотов шпинделя; производится проверка и корректировка мощности и числа оборотов по данным станка; вычисляются минутная подача и основное время на переход. Кроме того, для каждой детали вычисляются штучное время и расценка; производится корректировка подачи по допустимой минутной подаче.

Исходными данными для вычислений служат сведения о станке, инструменте, детали и условиях обработки. Исходные данные вводятся в машину без шифровки, в том виде, в каком они содержатся в технологической документации.

Результаты вычислений печатаются машиной в нескольких экземплярах непосредственно на инструкционный нормировочный лист, который является документом, доводимым до рабочего места в цехе завода.

Для заполнения инструкционного нормировочного листа оператор машины получает все исходные данные по технологии обработки данной детали. Оператор печатает заголовок листа (рис.2), т.е. исходные данные, общие для всей детали (верхняя первая строка листа), и приступает к расчету переходов. Для этого оператор печатает исходные данные перехода (16 первых граф листа, включая мерительный инструмент). После печати исходных данных машина автоматически переходит в режим расчета и печатает полученные результаты уже в графах 17-22. Затем производится расчет следующего перехода.

Выполнив указанные операции, оператор, нажимая соответствующий клавиш на пульте ручного управления, переводит машину в режим итогового расчета, в результате чего машина автоматически вычисляет штучное время и расценку и также печатает их в конце инструкционного нормировочного листа.

Ниже приводятся основные технические данные машины СТЭМ:

1. Тип - специализированная цифровая логическая вычислительная машина с коммутированной программой.

2. Представление чисел:

а) двоичная система;

б) числа 15-разрядные с фиксированной запятой перед старшим цифровым разрядом.

Кировский завод		Инструментальный нормировочный лист № 67										Операция № 20					Модель шредера						
№ детали	Вес, кг	Вид детали	Материал			С т а л ь			НВ, ед	модель и марка		мощность, л.с		Цех	Приспособ. ос.	Глубина, мм.	КВЧ	Темп, мин	Партия	% Трудноб.	Разряд	Модель шредера	
			ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ		ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ										
№	Наименование операции (код обработки)	Материал инструмента	Диаметр детали или диаметры инструмента	Длина или диаметр обработки	ИсглТ	Шероховатость	Число зубьев	Глубина резания	З	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
I7-01-145-I	5	Наименование операции (код обработки)	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ	ИсглТ
I	Подрезка	Т15К6	210,0	148	I	I	2,0	I	0,6	K	I,0	I,0	I,0	0,33	2	скоба	148	149,1	225	135,9	4,2	0,24	0,57
2	Подрезка	Т15К6	210,0	148	I	I	0,5	I	0,6	B	I,0	I,0	I,0	0,55	2	скоба	148	200,6	304	182,7	1,3	0,17	0,73
3	Наружное прод.точ.	Т15К6	114,0	110	I	I	1,7	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,44	4	скоба	110	231,3	650	226,9	3,6	0,49	0,93
4	Наружное прод.точ.	Т15К6	114,0	90	I	I	1,7	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,87	7	скоба	100	231,3	650	226,9	3,6	0,41	1,28
5	Наружное прод.точ.	Т15К6	101,0	48	I	I	0,3	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,66	10	скоба	100	300,0	945	330,1	0,8	0,14	0,81
6	Наружное прод.точ.	Т15К6	54,0	65	I	I	1,5	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,29	14	скоба	51	201,4	1197	417,9	2,8	0,15	0,44
7	Подрезка	Т15К6	100,0	51	I	I	0,5	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,30	12	шайба	90	169,3	540	188,4	0,7	0,14	0,43
8	Наружное прод.точ.	Т15К6	51,0	57	I	I	0,25	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,64	15	скоба	50	192,0	1197	417,9	0,3	0,13	0,77
9	Отрез.проф.канал.	Т15К6	101,0	91	I	I	8,3	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,48	9	шайба	45	34,1	107	37,6	4,2	0,24	0,72
10	Подрезка	Р18	146,0	108	I	I	0,5	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,60	3	скоба	108	121,6	261	91,3	0,8	0,25	0,84
11	Наружное прод.точ.	Р18	70,0	2	I	I	10,0	I	0,35	B	I,0	I,0	I,0	0,35	13	калор	70	32,0	145	50,8	4,2	0,28	0,63
																						Ресурс	Норма
																						0,06	9,19

Рис. 2. Образец инструментального нормировочного листа.

3. Арифметическое устройство - последовательного действия, работает с числами, представляемыми в прямом и дополнительном коде.

4. Система команд-одноадресная.

5. Оперативное запоминающее устройство параллельного действия с произвольным обращением, емкость - 40 чисел.

6. Постоянное запоминающее устройство с коммутационным полем для набора четырехзначных десятичных чисел.

7. Устройство ввода-вывода - электрическая пишущая машинка.

8. Производительность машины - 140 переходов в час (включая время на ввод и вывод).

9. Машина работает при температуре окружающей среды от +10 до +30°C.

10. Рабочее обслуживание машины осуществляется оператором-машинисткой; техническое обслуживание - техником по электронике.

Алгоритм машины СТЭМ составлен на основе Общемашиностроительных нормативов режимов резания и времени так, что все справочные данные типа показателей степени и коэффициентов расчетных формул выбираются из памяти автоматически.

В алгоритме используются следующие формулы:

$$v = \frac{C_v D^{q_v}}{T^m t^{x_v} S^{y_v} B^{u_v} Z^{p_v} H^{h_v}} \cdot \prod_{i=1}^6 K_{v_i} ; \quad (1)$$

$$N = C_N D^{q_N} t^{x_N} S^{y_N} Z^{p_N} n^{z_N} v^{w_N} B^{u_N} H^{h_N} \cdot K_N ; \quad (2)$$

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} ; \quad (3)$$

$$T_M = \frac{L}{S_M} \cdot i ; \quad (4)$$

$$S_M = S Z n ; \quad (5)$$

$$T_{ш} = \left(1 + \frac{K_T}{100}\right) \left[\sum (T_M + T_{б.н.}) + T_{б.г.} \right] + \frac{T_{п.э.}}{r} ; \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{60} T_{ш} C ; \quad (7)$$

$$L = \ell + \ell' ; \quad (8)$$

$$\ell' = at + b ; \quad (9)$$

$$\ell' = \sqrt{t(D-t)} ; \quad (10)$$

$$\ell' = \sqrt{B(D-B)} ; \quad (11)$$

$$\ell' = 0,3D ; \quad (12)$$

где:

v - скорость резания, м/мин ;

D - диаметр инструмента или детали, мм ;

T - стойкость инструмента, мин ;

t - глубина резания, мм ;

s - подача, мм/об ;

B - ширина обработки, мм ;

H_B - твердость по Бринеллю ;

z - число зубьев ;

K_N, K_V, K_V' - поправочные коэффициенты, задаваемые технологом для учета особых условий обработки ;

n - число оборотов шпинделя, об/мин ;

T_M - машинное время, мин ;

L - длина обработки, мм ;

S_M - минутная подача, мм/мин ;

$T_{ш}$ - штучное время, мин ;

K_T - процент прибавочного времени, % ;

$T_{\text{в.л.}}$ - вспомогательное время на переход, мин ;

$T_{\text{в.д.}}$ - вспомогательное время на деталь, мин ;

$T_{\text{п.з.}}$ - подготовительно-заключительное время, мин ;

r - количество деталей в партии, шт. ;

P - расценка, руб ;

C - тарифная ставка, руб ;

ℓ - длина обрабатываемой поверхности, мм ;

ℓ' - длина врезания и перебега инструмента, мм.

При вычислении в зависимости от исходных данных выбирается автоматически одна из формул 9 + 12.

Переменные $C_V, q_V, m, x_V, y_V, p_V, h_V, K_{V_1}, K_{V_2}, K_{V_3}, K_{V_4}, C_N, q_N, x_N, y_N, p_N, z_N, w_N, u_N, h_N, \alpha, \beta, u_V$ являются параметрами, значения которых выбираются из памяти машины автоматически в зависимости от исходных данных.

Машина СТЭМ вычисляет режим резания (величины s_M, v, n, N) так, что подача s принимает максимальное возможное значение, т.е.

$$s = \min (s_{\text{маш}}, s_{\text{тех}}),$$

где $s_{\text{маш}}$ — максимально возможная подача, определяемая машиной;
 $s_{\text{тех}}$ — максимально возможная подача, задаваемая технологом.

Для выбранной подачи вычисляется наибольшее значение v , при котором еще выполнены ограничения

$$n \leq n_{\text{наиб}}, N \leq N_{\text{гол}}, T \geq T_{\text{маш}},$$

где $n_{\text{наиб}}$ — наибольшее число оборотов шпинделя станка;

$N_{\text{гол}}$ — наибольшая допустимая мощность резания;

$T_{\text{маш}}$ — в машине заданное значение стойкости инструмента (величина $T_{\text{маш}}$ определяется автоматически в зависимости от вида и материала инструмента, вида обработки, вида обрабатываемого материала и диаметра инструмента).

Кроме элементов режима резания s_M, v, N, n , вычисляются и печатаются для нормирования труда $T_M, T_M + T_{\text{в.п.}}, T_{\text{ш}}$ и P .

Машина состоит из следующих блоков (рис.3):

1. Устройство ввода-вывода УВВ содержит электрическую пишущую машинку и схему управления вводом-выводом. УВВ служит для ввода и вывода информации из машины при одновременном заполнении инструкционного нормировочного листа.

2. Блок таблиц БТ представляет собой сложную логическую схему. Схема распознает технологическую ситуацию по печатаемому на инструкционный нормировочный лист данным и производит предварительную выборку расчетных коэффициентов из таблиц, заложенных в блок. Более подробное описание БТ приводится ниже.

3. Блок чисел БЧ служит для перевода десятичных чисел в двоичные числа.

4. Запоминающее устройство ЗУ содержит матрицу ПЗУ, матрицу ОЗУ и схему управления. ПЗУ (объем 50 чисел) хранит двоичные эквиваленты десятичных разрядов чисел. ОЗУ имеет объем 40 15-разрядных чисел и служит для запоминания информации при вычислении.

5. Арифметическое устройство АУ и устройство управления операциями УУОп служат для выполнения арифметических операций с двоичными числами.

6. Блок программы БП хранит все программы и управляет работой машины, выдавая команды в соответствующие блоки.

Рабочий процесс в машине происходит следующим образом.

Исходные данные поступают в машину при печати инструкционного нормировочного листа. Благодаря наличию датчика положения каретки пишущей машинки известно, какая позиция строки листа печатается. Необходимая информация с инструкционного нормировочного листа — определенные позиции печатаемого текста — выбирается программным блоком, работающим в этом случае синхронно с УВВ.

Информация о технологической ситуации поступает в БТ, который классифицирует ее и соответственно классификации производит предварительную выборку (подготовку) расчетных коэффициентов. Общее количество коэффициентов около 2500, предварительно выбирается одновременно около 20 коэффициентов.

Считывание предварительно выбранных коэффициентов осуществляется БП, перевод в двоичные числа производится в БЧ. Часть цифровой информации поступает из УВВ непосредственно в БЧ. БЧ совместно с ПЗУ преобразует десятичные числа в двоичные. Вся исходная числовая информация записывается в ОЗУ.

УУОп управляет арифметическим устройством, т.е. обеспечивает непосредственное выполнение арифметических действий в АУ на основе полученных из БП сигналов о виде операции. Числа для выполнения арифметических действий поступают из ячеек ОЗУ, адреса которых задаются БП. Результаты арифметических действий посылаются также в ОЗУ.

Обработка информации происходит согласно заложенной в БП программе. Программа машины в БП постоянная, но при необходимости может быть изменена путем изменения прошивки через ферриты. Резуль-

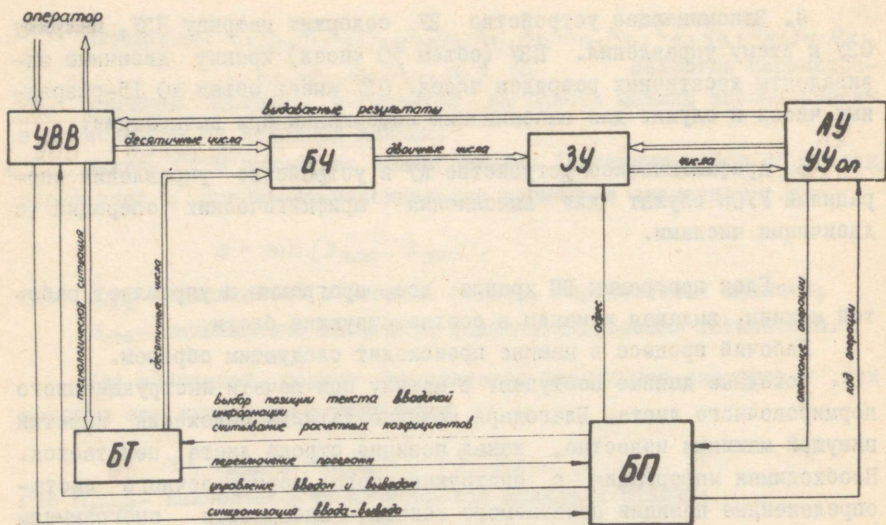


Рис. 3. Функциональная схема машины.

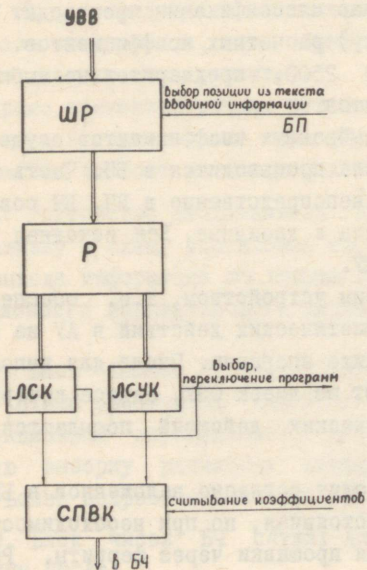


Рис. 4. Блок-схема БТ.

таты вычислений выдаются с ОЗУ через АУ на УВВ. В этом случае БП управляет преобразованием двоичных чисел в десятичные и пишущей машинкой. Синхронизация при печати результатов обеспечивается датчиком положения каретки пишущей машинки.

Рассмотрим более подробно работу блока таблиц (рис.4).

Для приема и выделения необходимой алфавитно-цифровой информации из вводимых технологических терминов служит шифрующий распределитель ШР. ШР выделяет из вводимой информации наиболее существенную, согласно программе; заданной БП.

С выходов ШР информация поступает на регистр Р, в котором она запоминается на время решения (расчета) одного технологического перехода. Р имеет избыточность в разрядах, равную 1,8, чем обеспечивается высокая надежность работы БТ. Выходы Р соединены со входами логической схемы классификации (ЛСК) и логической схемы уточняющей классификации (ЛСУК).

Функции ЛСК и ЛСУК состоят в следующем. Машина учитывает 7 дискретных и 5 непрерывных входных переменных, от которых зависят формулы вычислений и расчетные константы. Только число возможных сочетаний дискретных величин составляет 85 тысяч. ЛСК классифицирует эту большую область изменения исходных данных на 110 основных ситуаций, в пределах которых действительны одни и те же расчетные формулы. Распознавание и классификация технологической ситуации в ЛСК происходит путем логического сравнения и сложной дешифровки записанной в Р информации. ЛСУК уточняет полученную в ЛСК технологическую ситуацию путем выбора комплектов поправочных коэффициентов к расчетным формулам.

Выходы ЛСК и ЛСУК управляют схемой предварительной выборки коэффициентов СПВК, представляющей собой постоянную память 2500 табличных коэффициентов (память составляют контакты МКС и реле и коммутационное поле, выполненное в виде монтажа непосредственно на их контактах). Выбор необходимых коэффициентов обеспечивается ЛСК и ЛСУК. Считывание коэффициентов производится из БП. С помощью БЧ и ПЗУ получают двоичные коды считываемых коэффициентов.

Кроме того, ЛСК и ЛСУК выбирают соответствующие технологической ситуации разновидности программ БП.

Опытный образец СТЭМ сдан в эксплуатацию в декабре 1963 г. на ленинградском Кировском заводе. Машина установлена и эксплуатируется отделом труда и заработной платы завода, техническое ее обслуживание производится вычислительным центром завода.

Исходные технологические данные направляются в отдел труда и заработной платы завода, где при помощи СТЭМ производится расчет режимов резания и нормирование работ. Оператор на СТЭМ заполняет инструкционные нормировочные листы, которые направляются в цех и доводятся непосредственно до рабочих мест.

Применение СТЭМ на Кировском заводе дает значительный экономический эффект за счет экономии труда технологов-нормировщиков. Дополнительный экономический эффект обеспечивается за счет повышения производительности станков, работающих в оптимальных режимах, а также за счет повышения производительности труда станочников при работе по технически обоснованным нормам времени.

По предварительным расчетам, СТЭМ заменяет труд 130 технологов-нормировщиков. При годовой производительности машины около 800.000 переходов годовой экономический эффект достигает 130.000 рублей.

Из общей задачи комплексной автоматизации проектирования технологии СТЭМ решает лишь частную задачу — производит расчет режимов резания и норм времени. Однако из общего объема работ по проектированию технологии обработки металлов резанием (без проектирования оснастки) расчеты по режимам резания и нормированию труда составляют 50-70%. Таким образом, СТЭМ решает довольно значительную часть общей задачи, что создает известную перспективу более широкого применения машин такого типа.

К достоинствам машины следует отнести также ее относительно малые размеры и простоту работы на ней. Поскольку для работы на СТЭМ не требуется предварительной шифровки и перфорации исходных данных, а также дешифровки и переписки результатов машинного расчета, указанные обстоятельства существенно упрощают использование машины технологами-нормировщиками.

Опыт создания и применения СТЭМ в подготовке производства завода можно считать еще одним шагом в развитии автоматизации инженерно-управленческого труда в стране.

Кесс Ю.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Исходные элементы технологии:

- а) режимы инструмент (материал, стойкость, режим резки);
- б) режимы резания;
- в) нормы времени на операции (отдельно технологическое вспомогательное время на берсход).

1950

1. The first part of the report deals with the general situation in the country and the progress of the work of the Government.

2. The second part of the report deals with the work of the various departments of the Government.

3. The third part of the report deals with the work of the various departments of the Government.

4. The fourth part of the report deals with the work of the various departments of the Government.

5. The fifth part of the report deals with the work of the various departments of the Government.

6. The sixth part of the report deals with the work of the various departments of the Government.

7. The seventh part of the report deals with the work of the various departments of the Government.

1950

В кругу задач по автоматизации подготовки производства (АПТ) в машиностроении одной из самых трудоемких и часто встречающихся является автоматизация проектирования операционной технологии. Существуют разные алгоритмы машинного решения этих задач, а также технической реализации этих алгоритмов. Необходимость широкого внедрения АПТ на машиностроительных предприятиях страны ставит задачу определения экономически эффективных способов автоматизации проектирования технологии.

В исследованиях, проводимых по АПТ, можно различить два разных направления:

- 1 - автоматизацию проектирования всей технологии для определенных классов деталей;
- 2 - автоматизацию проектирования отдельных элементов технологии для любых деталей.

Рассмотрим некоторые вопросы второго направления. Прежде всего нужно выбрать класс задач для автоматизации, причем в первую очередь следует учитывать экономическую эффективность автоматизации решения этого класса задач и возможность быстрого и широкого внедрения данной автоматизации в промышленности страны.

Поставим задачу *B*: автоматизировать проектирование элементов операционной технологии обработки металлов резанием по классу технологических задач *D*.

Класс технологических задач *D* определяем в следующих границах:

1. Искомые элементы технологии:

- а) режущий инструмент (материал, стойкость, размеры и геометрия резца);
- б) режимы резания;
- в) нормы времени на переход (основное технологическое время и вспомогательное время на переход).

2. Из видов работ рассматриваются следующие основные: точение, сверление, фрезерование, строгание, резьбонарезание, зубонарезание, протягивание и шлифование.

Выбранные элементы определяют технологию перехода. Для их определения в качестве исходных данных нужно задать:

а) общие технологические данные по операции:

б) вид и характер обработки, тип инструмента и размеры обработки по каждому переходу.

Если под проектированием понимать весь объем работы, выполняемой от получения исходных данных до заполнения операционного листа, тогда под автоматическим проектированием следует понимать работу автомата, который при вводе в него исходных технологических данных в их первоначальном виде выдает заполненный операционный лист, не требующий дополнительной обработки.

Выбор задачи В в качестве объекта автоматизации обоснован следующими аргументами:

а) определение вышеуказанных элементов технологии является массовой задачей в машиностроении. Поскольку каждая маршрутная технология состоит из нескольких операционных, а каждая операционная технология, в свою очередь, состоит из нескольких переходов, то автоматизация определения элементов технологии по переходам является одной из наиболее трудоемких задач проектирования технологии;

б) выбранные виды работ составляют основную часть станочных работ в промышленности;

в) задача В обладает свойством универсальности по отношению к любым деталям, подвергаемым данным видам обработки.

Исходные технологические зависимости для определения названных элементов технологии имеют аналитическую или табличную форму. Аналитические зависимости имеют общий вид:

$$p_i = a_{p_i} \prod_{j=1}^{j_{pr}} b_j^{x_{pj}} \prod_{l=1}^{l_{ml}} K_{pl} \quad (i = 1, 2, \dots, r), \quad (I)$$

где

p_i - определяемый элемент технологии;

a_{p_i} - коэффициент;

b_j - исходная технологическая переменная;

- x_{pi} - показатель степени;
- K_{pic} - поправочный коэффициент;
- n - количество переменных в формуле;
- m - количество поправочных коэффициентов в формуле;
- r - количество элементов технологии и видов работ.

Кроме вышеприведенных основных, в систему исходных зависимостей входит еще система логических зависимостей, связывающих конкретный технологический переход, характеризуемый комплектом исходных данных, с комплектом конкретных зависимостей вида (I) и входящих в эти зависимости параметров

$$a_{pi}, x_{pi}, K_{pic} \quad (Л.2)$$

Основным методом определения всех выбранных элементов технологии в настоящее время является метод определения по нормативным таблицам (Л.1). Заметим, что приведенными ранее аналитическими зависимостями практически не пользуются. Эта работа весьма трудоемка и на предприятиях часто вообще не выполняется. Полученные по нормативным таблицам значения элементов технологии не точны (ввиду дискретного характера таблиц) и не оптимальны. Подобными недостатками обладают и другие немашинные методы (применение специальных логарифмических линеек, номограмм и др.)

В течение последних лет проводится ряд разработок по автоматизации и механизации упомянутых работ при помощи электронно-вычислительных машин (ЭВМ). Разработан ряд машинных методов решения задач по выбору элементов технологии.

При применении электронно-вычислительных машин большее значение приобретают расчетные методы решения задачи, позволяющие оперировать с меньшим количеством информации. Поэтому для расчета режимов резания и основного технологического времени при помощи ЭВМ используются аналитические зависимости типа (I). Очевидно, целесообразно найти аналитические зависимости и для определения других элементов технологии. Так, например, задача нахождения аналитических зависимостей для определения вспомогательного времени решается в Институте математики и вычислительной техники АН БССР под руководством доктора техн. наук Г.К. Горанского.

Применение ЭВМ позволяет практически перейти к оптимальным решениям поставленных задач. Метод линейного программирования для расчета оптимальных режимов резания разработан Г.К. Горанским (Л.3). Методы оптимизации для автоматизации проектирования технологии разрабатываются в НИСЭТИ СХУ ЭССР (Л.4). Применение таких методов позволяет находить при решении нашей задачи оптимальные элементы технологии и в первую очередь определять оптимальные режимы резания для всех видов работ. Используя один из методов оптимизации для решения задачи, можно найти из системы выражений типа (I) для каждого вида работы оптимальные величины (v, s) или (v, s, t) .

Задача нахождения оптимальных режимов резания может быть расширена на нахождение оптимальных величин элементов геометрии реза, стойкости инструмента и др.

Рассмотрим алгоритмы машинного решения выбранной задачи, а также автоматы, реализующие эти алгоритмы.

Алгоритм решения задачи и реализующий этот алгоритм автомат зависят друг от друга, и при отыскании эффективного способа решения конкретной задачи следует рассматривать вместе алгоритм R_i решения задачи и автомат A_i , реализующий алгоритм. Такой способ даст возможность найти для решения конкретной задачи наиболее эффективный алгоритм решения и синтезировать автомат для эффективной реализации этого алгоритма.

Рассмотрим основные типы существующих алгоритмов решения задачи B и реализующих эти алгоритмы автоматов. В качестве автоматов в основном применяются электронно-вычислительные машины, как наиболее эффективные средства автоматического решения подобного рода задач. Автоматы этого типа делятся на моделирующие (аналоговые ЭВМ) и программные (цифровые ЭВМ).

Моделирующие автоматы (МА) по принципу своего действия способны в данной задаче только моделировать степенные функции, вследствие чего их использовали для моделирования зависимостей типа (I). Программные автоматы в принципе способны решить задачу в целом.

Из моделирующих автоматов характерным является вычислительная машина МНП-2 для определения наивысшей производительности металлорежущих станков, разработанная под руководством проф. С.С. Можая-

ва (Л.7). При помощи МНП-2 можно определять режимы резания ($n, M_{кр}, N$) и основное технологическое время T_0 для следующих видов работ: точение, сверление и фрезерование. МНП-2 моделирует систему из пяти зависимостей типа (I).

Тип ЭВМ - специализированный, аналоговый (САВМ). В машине хранятся модели вышеуказанных зависимостей, для решения задачи нужно ввести в машину все исходные данные и параметры. В число исходных данных входит подача и глубина резания. Поэтому перед расчетом человек определяет из нормативных таблиц подачу, стойкость резца и все параметры. Отыскание решения производится методом поиска, путем ручного варьирования исходными данными на входе машины. При решении не учитываются ограничения по силе подачи и чистоте поверхности. Выход исходных данных производится на индикатор; вследствие чего человек должен вручную заполнить весь операционный лист.

В принципе при помощи моделирующего автомата A_1 можно решать задачу в более широком объеме - по всем видам работ и с учетом всех зависимостей типа (I). Тогда в A_1 хранятся модели этих зависимостей, табличные зависимости в A_1 неприменимы. Входной и выходной алфавит состоит только из цифр. Параметры, используемые при расчете, в A_1 не хранятся и вводятся для каждого перехода в автомат вместе с исходными данными. Таким образом, при помощи автомата A_1 полностью реализовать множество алгоритмов R невозможно, часть решения задачи остается неавтоматизированной.

Принципиально более широкие возможности имеет программный автомат. В силу своей универсальности программным автоматом можно полностью реализовать алгоритм решения всей задачи B . Различаются два типа программных автоматов - универсальные и специальные. Основы теории универсального программного автомата (УПА) рассматриваются В.М.Глушковым (Л.5). Г.К.Горанский рассматривает алгоритмы нахождения оптимальных режимов резания при помощи универсальных цифровых ЭВМ (УЦВМ) (Л.3). Рассматриваются алгоритмы для следующих видов работ: точение, сверление, фрезерование и резьбонарезание. Алгоритм решения задачи учитывает всю систему зависимостей типа (I), применяется метод линейного программирования для определения оптимальных значений элементов режимов резания. В машину вводятся только исходные данные, все параметры могут храниться в памяти машины.

Очевидно, область применения УЦВМ можно распространить на весь класс задач D . Множество алгоритмов R_2 , реализуемых универсальным программным автоматом A_2 , основано на системе аналитических зависимостей с применением методов оптимизации и табличных зависимостей. Из задачи B на УЦВМ не автоматизированы еще работы по кодированию исходной информации, которые требуется выполнять при каждом расчете. Для автоматического получения операционного листа требуется применение класса УЦВМ, работающих с алфавитно-цифровой информацией и имеющих алфавитно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ) на выходе (т.е. машины класса Минск-22, Урал-4 и др.). В качестве входного языка применяют систему кодов и численных величин исходных данных, интерпретируемых вводным устройством и программой ввода (Л.6).

Специальный программный автомат (СПА) является автоматом, реализующим определенный класс алгоритмов. Для данной задачи целесообразно синтезировать СПА, наиболее эффективно реализующий заданный класс алгоритмов. В нашем случае для решения задачи B целесообразно построить СПА, имеющий блок-схему, изображенную на рисунке. Частным случаем такого СПА является специализированная цифровая ЭВМ СТЭМ (Л.8).

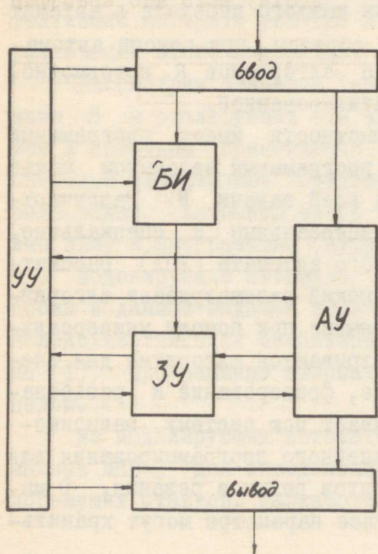


Рис.1.

Блок-схема такого СПА состоит из следующих блоков:

1. Устройство ввода и устройство вывода.

Эти два устройства могут быть объединены в совмещенное устройство ввода-вывода (УВВ) типа СТЭМ.

2. Блок интерпретации.

Блок служит для интерпретации входной информации. В блоке производится распознавание и классификация технологических ситуаций и, на основе этого, выборка программ и параметров для расчета, выборка данных из таблиц.

3. Запоминающее устройство (ЗУ).

Запоминающее устройство делится на оперативное (ОЗУ) и постоянное (ПЗУ). В составе ПЗУ различаем устройство хранения констант и устройство хранения программ. ЗУ имеет объем, рассчитываемый по реализуемому алгоритму. В СТЭМ объем ОЗУ—100 слов, ПЗУ—2000 констант и 770 команд.

4. Арифметическое устройство (АУ), управляющее устройство (УУ).

Структура АУ и УУ определяется внутренним языком машины. Синтез внутреннего языка производится с точки зрения эффективной реализации заданного класса алгоритмов. Содержание алгоритмов R_3 для СПА отличается в основном от содержания алгоритмов R_2 для УПА отсутствием алгоритма выборки из таблиц, который реализуется схемно, применением более эффективного специального языка программирования. В алгоритмах R_3 применимы методы оптимизации по аналогии с R_2 . Наличие совмещенного УВВ и БИ позволяет использовать во входной языковой системе набор технологических терминов без кодировки. Печать результатов расчета на УВВ позволяет избежать ввода в машину излишней информации (текст бланка, исходные данные). Построенный на таком принципе СПА решает поставленную задачу B полностью. С другой стороны, специализация блоков и блок-схемы позволяет синтезировать СПА из меньшего количества оборудования, с увеличением эффективной загрузки элементов и блоков машины по сравнению с УПА.

Для объективной оценки эффективности применения различных ЭВМ для решения задачи B нужно найти критерий эффективности применения ЭВМ. Известны различные критерии эффективности ЭВМ. Струк-

турные критерии оценивают степень совершенства структуры ЭВМ (В.В. Лапшин (Л.9), Ю.Я.Базилевский и Ю.А. Шрейдер (Л.10)). Критерий В.В. Лапшина оценивает степень совершенства структуры ЭВМ с точки зрения данной задачи. По этому критерию ЭВМ сравниваются по количеству оборудования (стандартных элементов) и времени решения задачи на ЭВМ. При применении этого критерия возникает прежде всего трудности с оценкой различных блоков путем приравнивания их к определенному количеству стандартных элементов. Главный недостаток критерия в том, что он не учитывает экономику решения всей задачи (затраты на эксплуатацию ЭВМ, затраты на подготовку исходных данных для ввода в ЭВМ и др.). Может быть экономически оправдано, например, применение ЭВМ с большим количеством дешевого оборудования.

Из экономических критериев известны критерии В.М.Глушкова (Л.11), Ю.Я. Базилевского и Ю.А.Шрейдера (Л.10). По всем этим критериям определяется цена или себестоимость одной операции данной задачи или типовой для машины. Себестоимость одной операции является отношением стоимости решения данной задачи к количеству операций алгоритма решения задачи. В случае оценки эффективности решения конкретной задачи эти критерии могут дать необъективную оценку, так как по этим критериям себестоимость одной операции не меняется при применении ЭВМ и алгоритмов, увеличивающих пропорционально стоимость решения задачи и количество операций в алгоритме.

Объективным критерием оценки эффективности алгоритма решения конкретной задачи и применения конкретной ЭВМ для решения этой задачи является себестоимость единицы продукции данной ЭВМ при решении данной задачи.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_i c_i}{p}, \quad (2)$$

где K - критерий эффективности (себестоимость решения средней единичной задачи), в руб.;

p - количество решаемых единичных задач;

t_i - рабочее время оборудования или человека для решения p задач, в час;

c_i – себестоимость часа эксплуатации оборудования или рабочего времени человека, в руб./час;

n – количество различных видов оборудования (в том числе и ЭВМ) и различных работников, участвующих в решении задачи.

Такой критерий эффективности оценивает совершенство алгоритма через $\sum_{i=1}^{n \text{ или } k} t_i$ и эффективность применения конкретной ЭВМ для решения данной задачи через c_i . В то же время критерий оценивает и дополнительные затраты, связанные с решением задачи помимо ЭВМ. При оценке применения различных алгоритмов и ЭВМ для решения задачи B следует за единичную задачу принять определение выбранных в задаче B элементов технологии для одного среднего перехода. Следовательно, величина K является в данном случае себестоимостью получения на операционном листе элементов технологии по одному среднему переходу.

Сравнение по критерию (2) расчета режима резания и нормы времени при помощи различных типов ЭВМ дает результаты, приведенные в табл. I.

Таблица I

Тип ЭВМ	Рабочее время ЭВМ на один переход (в час.)	Себестоимость часа работы ЭВМ (в руб.)	K (в руб.)
Специализированная аналоговая МНП-2	0,130 (Л.7)	0,4	0,65
Универсальная цифровая Урал-1	0,025 ^x (Л.3)	10,0	0,25
Специализированная цифровая СТЭМ	0,007	4,4 ^{xx}	0,03

^x Время решения задачи без учета времени перфорации и заполнения технологических документов.

^{xx} По заводской калькуляции с учетом стоимости разработки машины.

По предварительным расчетам, себестоимость часа работы серийной специализированной ЦВМ типа СТЭМ для решения всей задачи B равна 2 руб. Себестоимость часа работы УЦВМ типа Минск-22 и Урал-4 равна 40 руб./час. При выборе для СЦВМ элементов, равных по быстрдействию элементам УЦВМ, время расчетов по одному переходу обоих типов машин равно, следовательно, эта часть себестоимости расчетов по одному переходу еще более изменится в пользу СЦВМ. Себестоимости работ до расчета (для УЦВМ - стоимость перфорации и ввода данных; для СЦВМ - стоимость только ввода) и после расчета (для УЦВМ - стоимость вывода результатов на печать и ручного заполнения операционного листа или стоимость печати операционного листа на АЦПУ; для СЦВМ - стоимость печати результатов) примерно равны.

Таким образом, по критерию эффективности K применение специализированных ЦВМ для решения задачи B более оправданно, чем применение УЦВМ.

В результате сравнения различных алгоритмов решения задачи B и их реализаций можно сделать следующие выводы:

1. Задача B решается ограниченно при помощи A_1 , почти полностью A_2 и полностью A_3 .

2. Широкое внедрение автоматического решения задачи B в промышленности путем применения специализированных цифровых ЭВМ даст значительный экономический эффект (Л.8).

3. Сравнение A_2 и A_3 по критерию эффективности (2) показывает, что применение специализированных цифровых ЭВМ для решения задачи B наиболее эффективно и экономически оправданно.

1. ЦБНТ. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени на станочные работы.
2. ТЫГУ Э.Х. Исходные данные для расчета режимов резания на вычислительных машинах. Сборник научно-технических статей НИСЭТИ, выпуск I, Таллин, 1965.
3. ГОРАНСКИЙ Г.К. Расчет режимов резания при помощи электронно-вычислительных машин. Госиздат. БССР, Минск, 1963.
4. ТЫГУ Э.Х. Вычисление оптимальных режимов резания методом поиска. Сборник научно-технических статей НИСЭТИ, выпуск I. Таллин, 1965.
5. ГЛУШКОВ В.М. Синтез цифровых автоматов. Физматгиз. Москва, 1962.
6. КОЗМИДАДИ В.А. и ЧЕРНЯВСКИЙ В.С. О некоторых понятиях теории математических машин. Вопросы теории математических машин. Сборник 2. Физматгиз. Москва, 1962.
7. МОЖАЕВ С.С. Вычислительная машина МНП-2 для определения наивысшей производительности металлорежущих станков. Применение вычислительной техники для автоматизации производства. Труды совещания. Машгиз, Москва, 1961.
8. АРИСТЕ А.П., КЕСС Ю.Д., ТЫГУ Э.Х. Вычислительная машина для расчета режимов резания и нормирования-СТЭМ. ЦБТИ СНХ ЭССР. Таллин; 1965.
9. ЛАПШИН В.В. О выделении класса эффективно перерабатываемых алгоритмов и определение максимальной эффективности структуры цифровой вычислительной машины. Труды ЛК ВВИА им. Можайского, выпуск 384. 1962.

10. БАЗИЛЕВСКИЙ Ю.Я. и ШРЕЙДЕР Ю.А. Методы оценки производительности универсальных цифровых машин с программным управлением. Вопросы теории математических машин. Сборник I. Физматгиз, Москва, 1958.
11. ГЛУШКОВ В.М. Два универсальных критерия эффективности вычислительных машин. ДАН УССР, № 4, 1960.

тыту Э.Х.

УЧЕТ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ

Ряд задач по нахождению элементов технологии механической обработки может быть решен методом поиска, линейного и нелинейного программирования (Л.1,2). Точность получаемого результата зависит от применяемого метода решения и математической модели, используемой для описания рассматриваемого технологического процесса. Настоящая публикация касается возможности усовершенствования математической модели процесса механической обработки.

При проектировании технологии рассматривается система, состоящая из станка, приспособления, инструмента и детали (система СПИД). Система СПИД описывается свойствами своих элементов: мощностью и кинематикой станка, материалом и геометрией инструмента и т.д. Для полного описания технологического перехода, кроме описания СПИД, необходимо задать элементы режима, резания, вид обработки и условия обработки. Назовем все перечисленные характеристики технологического перехода и системы СПИД технологическими переменными.

Математическая модель должна с достаточной степенью точности отражать связи между технологическими переменными. С другой стороны, она должна быть достаточно простой, ибо от этого зависит возможность ее практического применения.

Известная модель процесса механической обработки (Л.1,3) состоит из ряда ограничений, связывающих технологические переменные, и из целевой функции, выражающей качество процесса. Ограничиваются силы резания P_x, P_y, P_z , мощность резания N , чистота поверхности R_z , погрешность обработки δ , стойкость инструмента T и амплитуда вибрации A в системе СПИД. Так как $P_x, P_y, P_z, N, R_z, \delta, T$ и A зависят от остальных технологических переменных (от режима резания, геометрии инструмента, условий обработки), то связанными оказываются все технологические переменные. Такая математическая модель процесса механической обработки задается системой неравенств $f_i(x, y) \leq g_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, n$ и целевой функцией $S(x, y)$,

где x - набор заранее заданных технологических переменных;
 y - набор вычисленных элементов технологии (ими могут быть, например, стойкость инструмента, подача, геометрия инструмента, способ крепления детали и т.д.).

Такая детерминированная модель является весьма грубой. Зависимости $f_i(x, y)$ и $g_i(x)$ по существу приближенные, поскольку в них невозможно учесть все влияющие факторы. Например, предел прочности стали 45 после нормализации колеблется в пределах 15%; сила резания P_z зависит от предела прочности обрабатываемой стали следующим образом: $P_z = C \delta_b^{0,75}$. Таким образом, только этот фактор вызывает разброс в пределах 10% при определении силы P_z . Но на силу P_z влияют и качество заточки инструмента и свойства корки, не поддающиеся точному измерению, а также глубина резания, которая является случайной величиной, зависящей от размера заготовки.

Еще более ярким примером служит расчет размерной погрешности обработки. При выборе вида обработки, способа измерений и при размерном контроле деталей погрешность рассматривается как случайная величина. Однако в вышеописанной модели погрешность рассматривается как однозначно задаваемая функция некоторых технологических переменных, что приводит к грубым ошибкам. Продолжая рассматривать ограничения, легко убедиться, что дальнейшее уточнение детерминированной модели возможно лишь путем введения новых переменных и значительного усложнения зависимостей $f_i(x, y)$ и $g_i(x)$. Поэтому целесообразнее перейти от детерминированной модели к вероятностной.

Ниже приводится одна из вероятностных моделей процесса механической обработки и на простых примерах показывается ее использование при выборе оптимальных режимов резания.

В нашем примере x будет обозначать переменные, задаваемые в виде исходных данных, y - переменные, которые требуется вычислить,

$S_0(x, y)$ - функцию затрат, принимающую значение, равное затратам на выполнение перехода. Предположим, что процесс механической обработки должен удовлетворять l ограничениям. Каждому технологическому переходу поставим в соответствие систему событий G_1, G_2, \dots, G_n .

Событие G_i соответствует i -му ограничению и заключается в том, что i -е ограничение не выполняется. Если ограничение i , от-

носится к точности обработки, i_2 - к чистоте поверхности, i_3 - учитывает прочность пластинки твердого сплава, то события $G_{i_1}, G_{i_2}, G_{i_3}$ получают следующее значение:

G_{i_1} - деталь имеет неправильные размеры;

G_{i_2} - чистота поверхности неудовлетворительна;

G_{i_3} - сломалась твердосплавная пластинка.

События G_1, G_2, \dots, G_n порождают конечное поле \mathcal{G} событий. Пространство Q точек (x, y) будем рассматривать как параметрическое пространство, каждой точке которого соответствует вероятностная мера μ_{xy} на поле \mathcal{G} .

Появление события G_i связано с дополнительными расходами, поэтому каждому событию G_i будет соответствовать число α_i , характеризующее величину потерь при наступлении события G_i . Например,

α_{i_1} - означает расходы на брак из-за неправильного размера детали;

α_{i_2} - расходы на брак из-за несоответствия чистоты поверхности;

α_{i_3} - расходы, вызванные поломкой твердосплавной пластинки инструмента.

Можно утверждать, что α_i могут зависеть от x и y . Так, если с событием G_i связано появление непоправимого брака, то расходы на брак включают также затраты на выполнение перехода $S_0(x, y)$. Поэтому при необходимости будем использовать обозначение $\alpha_i(x, y)$.

Мы установили, что вероятностная модель процесса резания состоит из функции затрат $S_0(x, y)$, вектора случайных потерь $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, конечного поля событий \mathcal{G} и параметрического пространства Q , каждой точке (x, y) которого соответствует вероятностная мера μ_{xy} на поле \mathcal{G} .

Кажется целесообразным задавать вероятности $P[G_i]$ событий G_i таким образом, чтобы использовалась вся информация о процессе резания, содержащаяся в детерминированной модели.

Предполагая, что в детерминированной модели ограничения $f_i(x, y) \leq g_i(x)$ заданы с некоторой погрешностью Δ_i и что $f_i(x, y) + \Delta_i \leq g_i(x)$ соответствует в случайной модели событию $\neg G_i$, $f_i(x, y) + \Delta_i > g_i(x)$ - событию G_i , а $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ - взаимно-незави-

симые случайные величины, становится возможным вычислить вероятность $P_{xy}[G_i]$ - появления события G_i при заданных x, y по функции $F_i(t)$ распределения вероятностей случайной величины Δ_i ;

$$P_{xy}[G_i] = p_i(x, y) = 1 - F_i(\tau_i(x, y)), \text{ где } \tau_i(x, y) = g_i(x) - f_i(x, y).$$

Очевидно, что детерминированная модель процесса резания является частным случаем данной модели для $\Delta_i = 0, i = 1, 2, \dots, n$.

Использование данной модели для нахождения оптимальных технологических переменных y^* сводится к решению следующей задачи оптимизации: для заданных $Q, x, \alpha, p_1(x, y), p_2(x, y), \dots, p_n(x, y)$ найти y^* такие, что

$$S_0(x, y^*) + \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i(x, y) = \min \{ S_0(x, y) + \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i(x, y) \mid (x, y) \in Q \}.$$

Действительно, $S_0(x, y) + \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i(x, y)$ означает математическое ожидание предполагаемых затрат на технологический переход, если $P_{xy}[G_i G_j] = 0$ для $i \neq j$ а Q - множество возможных технологических вариантов (x, y) .

Во всех практически интересных случаях $P_{xy}[G_i] \ll 1$ для $i = 1, 2, \dots, n$, поэтому в силу независимости событий G_i и G_j вероятность $P_{xy}[G_i G_j] = P_{xy}[G_i] P_{xy}[G_j]$ мала по сравнению с $P_{xy}[G_i]$ и $P_{xy}[G_j]$, и можно действительно принять $P_{xy}[G_i G_j] \approx 0$.

Отметим, что эта задача будет линейной в том случае, если

1) множество $R\{y\}$ допустимых решений y - выпуклый многогранник;

2) $S_0(x, y)$ линейны относительно y ;

3) $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ не зависят от y ;

4) каждая функция $p_i(x, y)$ кусочно-линейна и выпукла относительно y на некотором интервале $[a_i, b_i]$, причем $y^* \in [a_i, b_i]$.

Для линейризации достаточно ввести дополнительные переменные

z_1, z_2, \dots, z_n , на которые наложены ограничения

$$z_i \leq \max \{ p_i(x, a_i), p_i(x, b_i) \}$$

$$z_i \geq \min \{ p_i(x, a_i), p_i(x, b_i) \}$$

$$z_i \geq p_i(x, y)$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

а в качестве целевой функции принять

$$S_0(x, y) + \sum_{i=1}^n \alpha_i z_i$$

Так как $z_i \geq p_i(x, y)$ распадаются на ряд линейных неравенств, то получается действительно задача оптимизации с линейными ограничениями и линейной целевой функцией.

Путем ввода дополнительных переменных можно также доказать, что будем иметь задачу выпуклого программирования, если:

- 1) множество $R = \{y\}$ допустимых решений y выпукло;
- 2) $S_0(x, y), \alpha_1(x, y), \alpha_2(x, y), \dots, \alpha_n(x, y)$ выпуклые относительно y ;
- 3) каждая функция $F_i(t)$ вогнута на интервале $[a_i, b_i]$, содержащем число t_i^* , причем
$$t_i^* = g_i(x) - f_i(x, y^*)$$
.

В качестве простейшего примера рассмотрим вычисление оптимального режима резания при следующих условиях:

токарный станок имеет подачи:

$$S \left(\frac{\text{мм}}{\text{об}} \right) = 0,36; 0,43; 0,52; 0,62; 0,74; 0,89; 1,06; 1,27; 1,52; 1,83; 2,2$$

и числа оборотов шпинделя:

$$n \left(\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right) = 62; 74; 89; 106; 127; 152; 183; 220; 265; 316; 380; 450$$

На число оборотов шпинделя наложено дополнительное ограничение $n \leq 240$ об/мин. Подача ограничивается прочностью пластинки из твердого сплава следующим ограничением $S \leq 1,5 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$, причем для вероятности p поломки пластинки зависимость от величины $t_s = 1,5 - S$ в интервале $(-1; +1)$ задана следующей эмпирической формулой $p(t_s) = 0,00025 e^{3,75 - 2,5 t_s}$. Заданы также $S_0 = \frac{22}{n \cdot S}$ (руб.) и затраты, связанные с поломкой резца $\alpha = 0,40$ руб. Требуется найти режим, обеспечивающий обработку с минимальными средними затратами. Для этого необходимо на плоскости (n, S) из конечного множества точек, которые удовлетворяют вышеприведенным ограничениям, выбрать такую, которой соответствует

$$\min(S_0 + \alpha p(t_s)) = \frac{22}{n \cdot S} + 0,4 \cdot 0,00025 e^{3,75 - 2,5 t_s}$$

В общем случае такая задача может быть решена методом поиска (Л.2). Однако в данном примере оптимальное значение одной переменной можно угадать сразу. Число оборотов не влияет на подачу, поэтому оптимальным является максимально возможное число оборотов $n_{opt} = 220$ об/мин. Оптимизация по одной переменной s не представляет труда, достаточно решить уравнение

$$\frac{d}{ds} (S_0 + \alpha p(t_s)) = 0$$

и проверить ближайшие возможные значения подачи. Оптимальной подачей будет $s_{opt} = 1,83$ мм/об. При этом вероятность поломки пластинки будет равна 0,0242. Согласно детерминированной модели оптимальный режим был бы $n_{opt} = 220$ об/мин, $s_{opt} = 1,27$ мм/об., т.к. должно выполняться условие $s \leq 1,50$ мм/об.

Решая ту же задачу для станка в автоматической линии или станка-автомата, где затраты из-за поломки инструмента будут большими, например, $\alpha' = 16,0$ руб., получим оптимальный режим $n_{opt} = 220$ об/мин., $s_{opt} = 0,89$ мм/об. Вероятность поломки пластинки равна 0,00231, т.е. значительно меньше, чем для обычного станка. При расчете по детерминированной модели в данном случае пришлось бы использовать какой-нибудь приближенный поправочный коэффициент на измененные условия обработки.

На рис. 1 в виде точек на плоскости (s, n) показано множество возможных режимов и отмечено решение задачи для $\alpha = 0,40$ руб. - точка (1), решение задачи для $\alpha' = 16,0$ руб. - точка (2) и решение задачи по детерминированной модели - точка (3).

На рис. 2 приведены кривые затрат

$$u = \alpha p(t_s) = 0,40 \cdot 0,00025 e^{3,75 - 2,5 t_s} = 0,0001 e^{2,5 s}$$

$$u = \alpha' p(t_s) = 16,0 \cdot 0,00025 e^{3,75 - 2,5 t_s} = 0,0040 e^{2,5 s}$$

и кривые суммарных затрат

$$S = S_0 + \alpha p(t_s) \quad \text{и} \quad S = S_0 + \alpha' p(t_s).$$

Значения функции $\phi_i(t) = 1 - F_i(t)$ (в примерах $p(t_s)$) могут быть определены непосредственно по статистическим данным как вероятности $P[G_i | t]$ появления события G_i при условии $t = g_i(x) - f_i(x, y)$. Это обеспечивает возможность практического составления конкретных вероятностных моделей процесса резания.

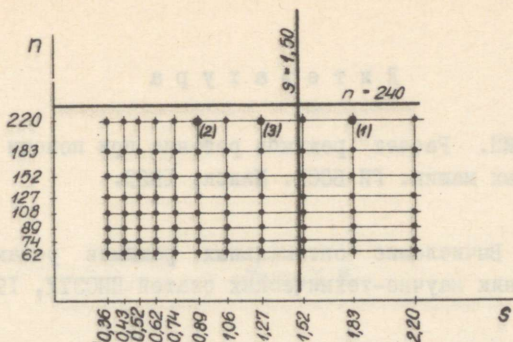


Рис. 1.

Применение вероятностной модели позволит учесть статистические свойства случайных факторов производства, что особенно важно при проектировании технологии крупносерийного и массового производства. Можно ожидать, что при правильно полученных статистических данных вероятностная модель даст результат значительно точнее, чем детерминированная модель.

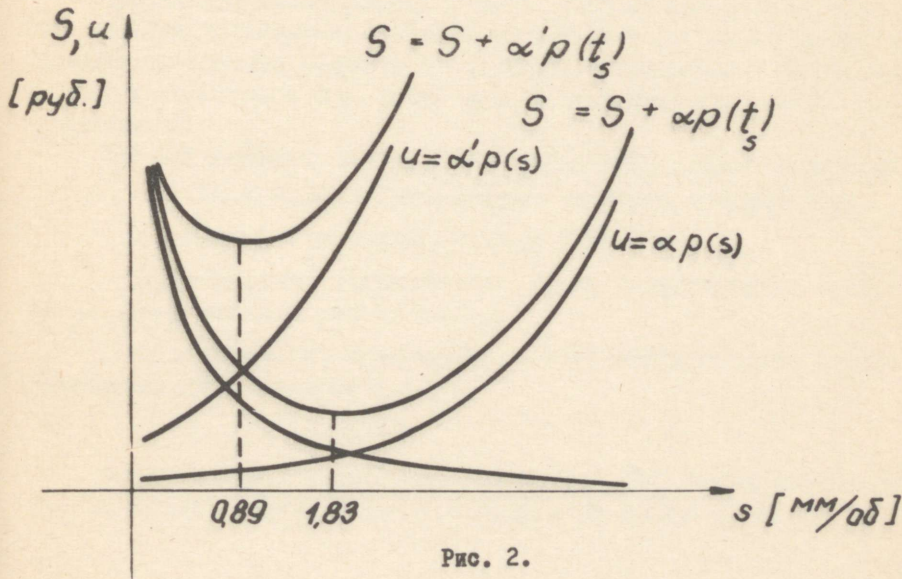
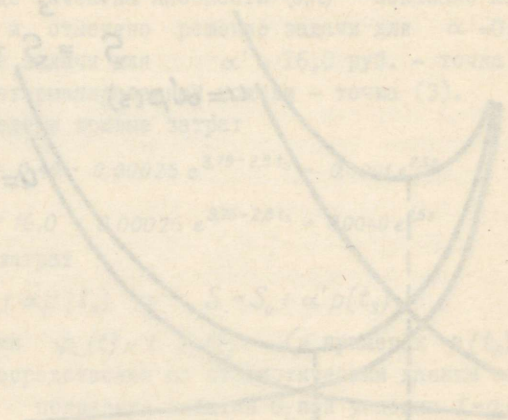


Рис. 2.

Л и т е р а т у р а

1. Г.К. ГОРАНСКИЙ. Расчет режимов резания при помощи электронно-вычислительных машин. ГИ БССР. Минск, 1963.
2. Э.Х. ТЛУГУ. Вычисление оптимальных режимов резания методом поиска. Сборник научно-технических статей НИСЭТИ, 1965.
3. Э.Х. ТЛУГУ. Исходные данные для расчета режимов резания на вычислительных машинах. Сборник научно-технических статей НИСЭТИ, 1965.



Тани Х.И.

О ВОЗМОЖНОСТИ МЕХАНИЗАЦИИ
КОДИРОВАНИЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ

В настоящее время весьма интенсивно ведутся работы по автоматизации проектирования технологии механической обработки машиностроительных деталей. Эффект, получаемый от автоматизации проектирования технологии (АПТ), из-за необходимости ручного кодирования чертежей и ввода данных в ЭВМ значительно снижается. Отсюда возникает вопрос о механизации кодирования чертежей и ввода данных в ЭВМ.

Кодирование машиностроительных чертежей (КМЧ) применяется в основном в двух целях:

а) при составлении программ для станков с программным управлением (СПУ);

б) для автоматического проектирования технологии.

Требования, предъявляемые к обеим системам кодирования, весьма различны. Составление программ для СПУ сводится к аппроксимации траектории движения режущего инструмента, обеспечению требуемой точности обработки и т.д. Этому вопросу посвящено много работ в литературе.

Для АПТ требуется ввести в ЭВМ данные более общего характера:

а) типы и взаимное расположение отдельных поверхностей;

б) размеры с допусками, чистота обработки;

в) особенности отдельных или групп поверхностей - зубья, шлицы, пазы, канавки, резьбы и т.д.;

г) особенности, относящиеся ко всей детали, - общая термообработка, общее покрытие и т.д.;

д) данные о заготовке.

Таким образом, в отличие от задачи для СПУ, фактически требуется воссоздание геометрического образа всей детали в ЭВМ.

В этом направлении пока опубликованы лишь отдельные работы, посвященные в основном вопросам ручного кодирования чертежей (Л.1, 2, 3).

Главными препятствиями на пути механизации КМЧ являются:

а) недостаточное развитие алгоритмов распознавания сложных изображений, шрифта и условных знаков;

б) большой объем избыточной информации, возникающей при развертке изображения;

в) недостаточная пространственная разрешающая способность имеющихся фотоэлектрических приборов.

Учитывая эти обстоятельства, в настоящее время можно поднимать вопрос лишь о частичной механизации КМЧ. Последние достижения в области техники распознавания и некоторые соображения, приводимые ниже, дают возможность сделать вывод о реальности поставленной задачи.

1. Класс кодируемых чертежей

Поскольку алгоритмы АПТ созданы пока лишь для простых деталей типа тел вращения, то при механизации КМЧ разумно ограничиваться названными типами деталей. Эти детали, как правило, состоят из цилиндрических поверхностей и плоскостей, а проекции их на чертеже из прямых линий и окружностей.

Большинство чертежей имеют формат II, поэтому целесообразно ограничиваться этим форматом. Минимальные размеры элементов изображения следует также ограничивать, задаваясь минимально допустимой длиной линии, радиусом окружностей, расстоянием между параллельными линиями. От выбора минимальных размеров зависит требуемая разрешающая способность системы.

2. Информационная емкость чертежа

Согласно (Л.4) любое черно-белое неподвижное изображение может быть охарактеризовано функцией излучаемой энергии на элемент i

$$w_i(x, y) = \iint_{\Delta x \Delta y} A(x, y) dx dy. \quad (I)$$

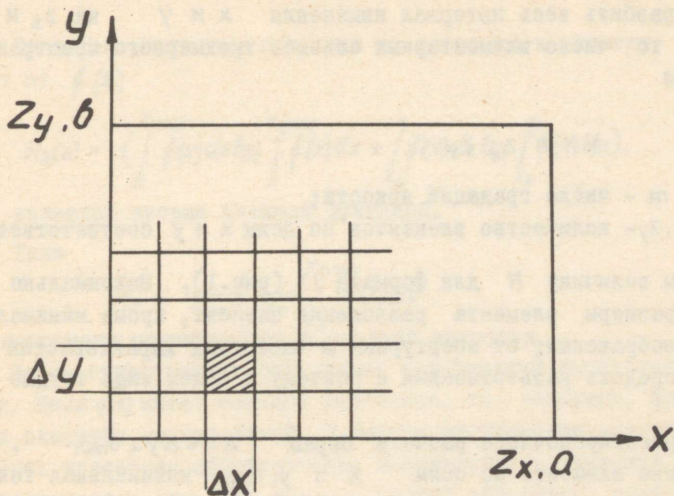


Рис. I. Формат чертежа.

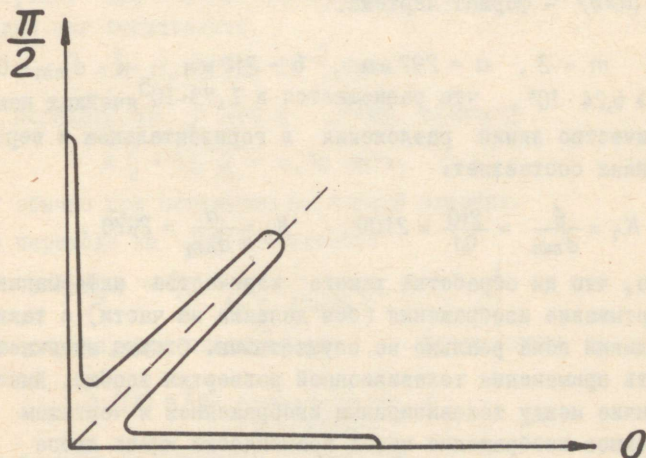


Рис. 2. Типичное распределение направлений линий.

Если разбить весь интервал изменения x и y на z_x и z_y участков, то число элементарных объемов трехмерного пространства изображения

$$N = m \cdot z_x \cdot z_y, \quad (2)$$

где m - число градаций яркости;

z_x, z_y - количество элементов по осям x и y соответственно,

Оценим величину N для формата II (рис. I). Максимально допустимые размеры элемента разложения зависят, кроме минимальных размеров изображения, от апертурных и частотных характеристик применяемых средств развертывания и поэтому в общем виде трудно задаваемы.

Для ориентировочного расчета берем $\Delta x = \Delta y \leq \delta_{min}$, (где Δx и Δy - длина элемента по осям x и y , δ_{min} - минимальная толщина линии).

Тогда

$$N \geq \frac{a \cdot b}{\delta_{min}^2}, \quad (3)$$

где $(a \times b)$ - формат чертежа.

При $m = 2$, $a = 297$ мм, $b = 210$ мм и $\delta_{min} = 0,1$ мм получим $N \geq 6,24 \cdot 10^6$, что размещается в $1,73 \cdot 10^5$ ячейках памяти ЭВМ.

Количество линий разложения в горизонтальном и вертикальном направлениях составляет:

$$K_x = \frac{b}{\delta_{min}} = \frac{210}{0,1} = 2100; \quad K_y = \frac{a}{\delta_{min}} = 2970.$$

Ясно, что ни обработка такого количества информации на ЭВМ, ни развертывание изображения (без деления на части) с таким количеством линий пока реально не осуществимы. Отсюда вытекает и безнадёжность применения телевизионной развертки вообще. Имеется резкое различие между телевизионным изображением и чертежом - если телевизионное изображение может практически иметь любое содержание, то чертежи представляют собой узкий класс изображений, элементы которых сильно коррелированы.

Рассмотрим некоторые особенности.

Тогда энтропия при переходе от элемента к элементу также зависит от $f(x)$

$$H_3(x) = - \left(\int_x^{x_{\max}} f(x) dx \lg_2 \int_x^{x_{\max}} f(x) dx + \int_{x_0}^x f(x) dx \lg_2 \int_{x_0}^x f(x) dx \right), \quad (7)$$

т.е. является весьма сложной функцией.

Если

$$\bar{H}_3 < \frac{1}{x_{\max} - x_0} \int_{x_0}^{x_{\max}} H(x) dx, \quad (8)$$

то мы получим преимущество в средней энтропии.

Здесь существенную роль имеет вид функции распределения длины линии. Если $f(x)$ имеет большое рассеяние, то, возможно, средняя энтропия окажется значительной. В первом приближении условие (8) может быть критерием эффективности использования следящей развертки. Это усложняется тем, что рядом с прямой образуются области с незначительной энтропией, поскольку очень близкие параллельные линии встречаются редко.

Интерес представляет вид функции прироста информации за один шаг развертки. При обычном сканировании средний прирост информации за один шаг составляет:

$$\Delta \bar{J} = \bar{H}_3 = 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ бит.}$$

При переходе от j -го к $j+1$ му элементу

$$\Delta J_j = \lg_2 \frac{1}{p_i} = 6,28 \text{ бита,}$$

т.е. как обычно при попадании на черный элемент.

При переходе на $j+2$ -й элемент

$$\Delta J_{j+1, j+2} = \lg_2 \frac{1}{1 - \int_{x_0}^{x_0 + \Delta x} f(x) dx};$$

и в общем случае, при сканировании вдоль линии

$$\Delta J(x) = \lg_2 \frac{1}{1 - \int_{x_0}^x f(x) dx}. \quad (9)$$

Вид функции (9) показан на рис. 3в.

Избыточность информации составляет

$$\Delta H = N' - N = 3,97 \cdot 10^6 \text{ бит.}$$

Очевидно, что телевизионная развертка дает огромную избыточность информации.

Б. Л и н е й ч а т а я с т р у к т у р а и з о б р а ж е н и я

Ввиду того, что черные элементы не разбросаны случайно по изображению, а сгруппированы в линии и знаки, действительная энтропия еще меньше. Распределение линий по направлениям также имеет особый характер — большинство линий либо горизонтальные, либо вертикальные, либо имеют наклон под углом 45° к оси чертежа.

На рис. 2 показано наиболее типичное распределение направлений линий.

В данном случае энтропия зависит от направления разворачивания.

При сканировании поперек линии вероятность p_{jz} попадания на черный элемент мало отличается от обычной, т.е.

$$p_{jz} \approx p_z,$$

где p_{jz} — вероятность попадания на черный элемент при переходе от j -го элемента на $j+1$ -й.

При сканировании вдоль линии положение резко меняется. Такой случай приведен на рис. 3а. До элемента j мы имеем обычные p_z и H_z (H_z — средняя энтропия на элемент).

При переходе от j -го на $j+1$ элемент

$$p_{j,j+1,z} \rightarrow 1$$

и дальше определяется законом распределения длины линии.

Если плотность распределения — $f(x)$, то

$$p_{k,k+1,z} = 1 - \int_{x_0}^{x_{(k)}} f(x) dx. \quad (6)$$

(Все интегралы берутся в смысле Лебега).

А. Малая плотность изображения

Вся информация на чертеже представлена совокупностью тонких линий и знаков. Например, средний по сложности чертеж состоит из III существенных знаков и 48 линий общей длиной:

$$\begin{aligned} \text{контурных линий} & \quad \sum_i l_{ki} = 1021 \text{ мм;} \\ \text{осевых линий} & \quad \sum_j l_{oj} = 440 \text{ мм;} \\ \text{размерных линий} & \quad \sum_k l_{pk} = 462 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Общее количество черных элементов:

$$\begin{aligned} n_z &= \frac{4 \sum_i l_{ki} + 2 \sum_j l_{oj} + \sum_k l_{pk} + \sum_p l_{zp}}{\delta_{min}} = & (4) \\ &= \frac{4 \cdot 1021 + 2 \cdot 440 + 462 + 10500}{0,1} = 6,4 \cdot 10^4 \text{ элементов,} \end{aligned}$$

где l_{ki} , l_{oj} , l_{pk} — длины i -ой контурной, l -ой осевой и k -ой размерной линии соответственно;
 l_{zp} — длина p -ой знаковой линии.

Кроме того, $\delta_k = 4\delta_p$; $\delta_o = 2\delta_p$; $\delta_p = \delta_{min}$,

где δ_k — ширина контурной линии;
 δ_p — ширина размерной линии;
 δ_o — ширина осевой линии.

Вероятность того, что элемент изображения (ЭИ) черный —

$$p_z = \frac{\delta_o^2 \cdot n_z}{a' \cdot b'} = \frac{0,12 \cdot 5,4 \cdot 10^4}{180 \cdot 230} = 1,3 \cdot 10^{-2}, \quad (5)$$

а вероятность того, что ЭИ — белый:

$$p_\delta = 1 - p_z = 1 - 1,3 \cdot 10^{-2} = 0,987$$

Тогда энтропия изображения

$$\begin{aligned} H &= -N' (p_z \lg_2 p_z + p_\delta \lg_2 p_\delta) = \\ &= 4,15 \cdot 10^6 (1,3 \cdot 10^{-2} \lg_2 1,3 \cdot 10^{-2} + 0,987 \lg_2 0,987) = \\ &= 1,8 \cdot 10^5 \text{ бит, или } 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ бит на элемент.} \end{aligned}$$

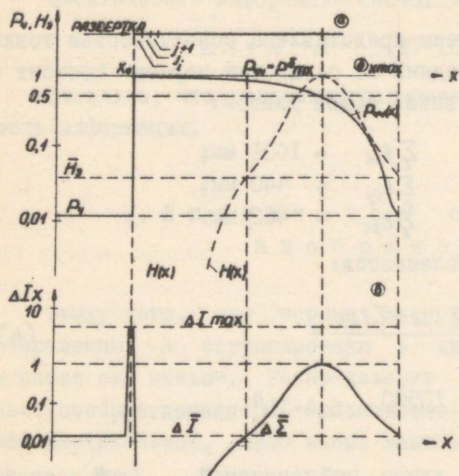


Рис. 3. Зависимость $p_z H$, ΔI_x от длины развертки:

а - расположение линии;

б - $p_z H = f(x)$;

в - $\Delta I_x = f(x)$.

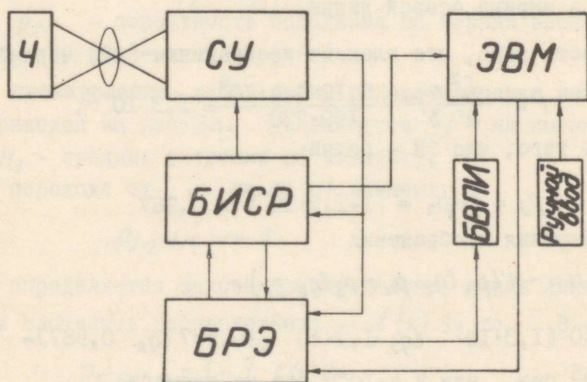


Рис. 4. Структурная схема полуавтоматической системы кодирования чертежей.

В. Неодинаковая значимость линий

Не все линии на чертеже обладают одинаковой значимостью при распознавании образа. Первостепенное значение имеют линии видимых и невидимых контуров. Осевые линии нужны лишь для взаимного расположения элементов изображения, а размерные — лишь для привязки размеров. Поэтому в ЭВМ для воссоздания геометрического образа необходимо ввести контурные линии с указанием наличия осевых линий, а также принадлежность размеров. Таким путем объем вводимой в ЭВМ информации может быть в 2-3 раза сокращен.

Г. Особенности типов линий

Так как ширина линий различных типов разная, то количество элементов пространственного разложения можно уменьшить, пользуясь амплитудной модуляцией видеосигнала, увеличив соответственно число градаций яркости (2). Принимая $m = 4$, мы получаем приемлемую пространственную разрешающую способность, которая требуется от системы. Разумеется, это заставляет предъявлять более жесткие требования к амплитудным характеристикам системы, а также вызывает необходимость более точного анализа амплитуды на выходе видеоканала. Но, с другой стороны, анализ амплитуды дает информацию о типах линий и облегчает их распознавание.

Учитывая приведенные особенности, можно сделать вывод, что следящая развертка обладает явным преимуществом перед другими известными типами разверток, ибо она позволяет существенно сжимать получаемую информацию.

3. Возможный вариант решения проблемы

Одной из главных задач является необходимость избавиться при развертывании от избыточности информации. Поэтому разумно разбить КМЧ на три этапа:

а) развертывание с распознаванием отдельных элементов изображения;

б) выделение наиболее существенных для дальнейшей обработки элементов;

в) воссоздание геометрического образа детали.

Поскольку проблема воссоздания геометрического образа детали должна решаться и при ручном кодировании, эти методы разрабатываются независимо от механизации кодирования, и результаты проведенных работ могут быть использованы.

Таким образом, при разработке системы механического кодирования основное внимание следует направить на вопросы развертывания изображения и распознавания элементов.

Нами предлагается следующая структура полуавтоматической системы кодирования (рис.4.)

Кодируемый чертеж Ч представляется сканирующему устройству СУ, которое состоит из оптической системы и фотоэлектрического преобразователя, например, системы "бегущий луч". Применение телевизионных передающих трубок при непериодической развертке затруднительно.

СУ управляется блоком инерционной следящей развертки БИСР. Инерционность в следящей развертке необходима при проходе через точки разрыва и пересечения. Для повышения стабильности БИСР имеет дискретное действие.

Распознавание элементов изображения происходит в блоке БРЭ, который управляется сигналами от СУ, БИСР и ЭВМ. Блоком БВПИ выбирается полезная информация и передается в ЭВМ. Например, для прямой линии передается тип линии и координаты концевых и других характерных точек (точки пересечения и сопряжения).

Распознавание рукописных цифр и знаков с высокой точностью, особенно размеров, которые задаются с допусками, пока связано с большими трудностями. Поэтому, хотя бы на первом этапе, размеры и разные надписи со штампа приходится вводить вручную. Для привязки размеров к определенным поверхностям следует пользоваться системой нумерации поверхностей, а размеры заносить в отдельную таблицу на чертеже (такой способ занесения размеров допускается ГОСТом).

Нумерация поверхностей значительно упрощает процесс распознавания - во-первых, мы имеем дело только с одно- и двузначными

числами; во-вторых, эти числа систематизированы в возрастающем порядке и правильность их легко проверить.

Распознавание элементов чертежа может быть реализовано на основе законов геометрии, поскольку линии аналитические.

Заключение

Объем информации чертежа достаточно велик, но при надлежащем разворачивании можно добиться значительного сжатия объема сигнала. Поэтому имеется реальная возможность частичной механизации кодирования чертежей. Целесообразным является применение следящей развертки с распознаванием элементов изображения. Ввод размеров и технологических терминов пока приходится производить вручную.

Л и т е р а т у р а

1. А.М. ГИЛЬМАН. Проектирование технологических карт механической обработки на электронных вычислительных машинах. ГОСИНТИ. Москва, 1959.
2. В.Д. ПАНОВ и др. Система кодирования чертежей деталей. Труды ПТНИИ, вып.2. Горький, 1963.
3. Л.Б. БЕЛЯКОВА. О некоторых вопросах кодирования информации чертежей деталей. Труды ПТНИИ, вып. 2. Горький, 1963.
4. С.Б.ГУРЕВИЧ. Эффективность и чувствительность телевизионных систем. "Энергия". Москва, 1964.
5. К. ШЕННОН. Работы по теории информации и кибернетике. ИЛ. Москва, 1963.

Центральное бюро технической информации СНХ ЭССР
Таллин, ул. Ломоносова, 29

Редактор З. Г р а ч е в а

Подписано в печать 19/VI 1965 года. Тираж 650 экз.
Бумага 20x41. Физ. печ. л. 13. Усл. печ. л. 2,99
МВ-06664. Заказ № 1425-6475.

Ротапринт ЦБТИ СНХ ЭССР. Таллин, ул. Пикк, 68

Цена II коп.

II коп.

XI

A-12188

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00546700 8