

Государственный комитет СССР по народному образованию



В. Г. АЛЕКСЕЕВ, К. И. БИЛИБИН, Е. В. КРотова

**ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ЗАДАЧ СБОРОЧНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ**

Издательство МГТУ

1989

Государственный комитет СССР по народному образованию

В.Г.Алексеев, И.А.Билибин, Е.В.Кротова

**ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
СБОРОЧНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ**

**Методические указания
к курсовому и дипломному проектированию**



Под общей редакцией Б.И.Белова

ИЗДАТЕЛЬСТВО МИТУ
1989

ББК 34.9

A47

A47

Алексеев В.Г., Билибин К.И., Кротова Е.В. Формализованное описание технологических задач сборочно-монтажного производства электронно-вычислительной аппаратуры: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию / Под ред. Б.И.Белова. - М.: Изд-во МГТУ, 1989. - 50 с., ил.

ISBN 5-7038-0167-2

Рассмотрены содержание, математические формулировки и методы решения технологических задач и методология построения технологических систем сборки. Методические указания предназначены для студентов, выполняющих курсовые и дипломные проекты по технологии приборостроения.

Рецензенты: В.Г.Ковалев, В.В. Холевин

Ил. 9, табл. 6, библиограф. 9 назв.

ББК 34.9

ISBN 5-7038-0167-2

© МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1989.

ВВЕДЕНИЕ

Под техническим объектом (ТО) будем понимать: изделие, относящееся к радиоэлектронным или электронно-вычислительным средствам; отдельные сборочные единицы, детали; технологические процессы изготовления и сборки.

Проектирование ТО - комплекс работ по изысканиям, исследованиям, расчетам и конструированию с целью получения всех необходимых исходных данных для создания новых изделий или реализации новых процессов, удовлетворяющих заданным требованиям.

Оптимальное проектирование - процесс принятия наилучших (оптимальных) с точки зрения принятого критерия решений с помощью ЭВМ.

На каждом этапе блочно-иерархического проектирования ТО решаются задачи оптимизации и синтеза.

При анализе ТО приходится сталкиваться с многообразием процессов, явлений, факторов, осмыслить которые трудно, также как и принять рациональное решение. Общим подходом при формализации любых процессов является системный подход, который представляет собой методологию анализа и синтеза различного вида объектов, позволяющую наиболее эффективно осмыслить их сущность.

Системный подход предполагает: выявление специфических характеристик и особенностей рассматриваемых ТО; установление необходимых ограничений; выбор варианта решения в предложенных условиях; выделение различных факторов, влияющих на качественное решение проблемы; учет неопределенности.

Согласно терминологии, установленной в общей теории систем [4, 7], система - это множество расположенных в определенном порядке элементов со своими отношениями, связями и функциями, образующее определенную целостность; подсистема - группа элементов, выделенная из системы как рассматриваемая в том или ином смысле как самостоятельная система.

Возможность абстрактной математической формализации систем обеспечивают математическая теория и метод исследования структуры.

Использование элементов системного подхода при выполнении курсовых и дипломных проектов будет способствовать повышению качества принимаемых решений. Для более подробного изучения к

описания структур рекомендуется использовать специальную литературу [4].

1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ СБОРОЧНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭВА

Термин "система" подчеркивает общность в различных объектах, позволяющую накапливать и совершенствовать методологический аппарат, включающий формальные, в том числе математические методы синтеза систем.

Существуют различные варианты классификации физических и искусственных систем. Так, можно выделить системы технические, технологические, транспортные, организационные, человеко-машинные, смешанные, системы управления и т.д.

Удобно ввести обобщенное понятие функциональной системы (ФС). Она может включать несколько организационных и большое число технических систем, которые составляют иерархическую совокупность взаимосвязанных элементов, дополняющих друг друга при решении основных задач, стоящих перед ФС. В процессе исследования ФС используются анализ и синтез. Анализ - логический прием разделения целого на отдельные элементы и изучения каждого из них в отдельности во взаимосвязи с целым. Синтез - объединение результатов анализа для формирования (проектирования) целого. Анализ и синтез неразрывно связаны.

Общая задача структурного анализа состоит в том, чтобы исходя из заданного описания элементов системы и непосредственных связей между ними получить заключение о структурных свойствах системы в целом и основных ее подсистем.

Структурный анализ широко используется при изучении технологических процессов и при проведении функционально-стоимостного анализа изделия. Он включает: описание состава объекта; построение структурной схемы (иерархической структуры); описание материальных, информационных связей (взаимосвязей) между элементами рассматриваемой системы; построение информационно-логической модели организации объекта.

На основе полученной организационной структуры проводится функциональный анализ, в процессе которого решаются следующие задачи: выявляется состав функций, выполняемых элементами организационной структуры на каждом из уровней; определяются взаимо-

связи функций в изучаемой системе; составляется перечень задач, решаемых при выполнении функции; составляется функциональная модель ТО.

При анализе структуры ТО определяются основные технические элементы, обеспечивающие реализацию информационных или производственных (в том числе технологических) процессов на различных уровнях структурной модели; разрабатывается модель технического обеспечения средствами производства с учетом топологии расположения элементов системы, информационного и материального взаимодействия их между собой и с внешней средой.

При проектировании систем типичной и, можно сказать, основной является задача синтеза, связанная с получением проектных вариантов.

Важным и необходимым элементом при оперативном поиске вариантов инженерных решений является морфологический анализ. Он основан на построении матрицы характеристик объекта и их возможных значений. Перебирая возможные сочетания значений характеристик, можно найти оптимальные варианты структуры объекта.

Этапы проведения морфологического анализа:

- 1) формулируется постановка задачи;
- 2) выявляются наиболее характерные параметры (признаки) или структурные составляющие объекта;
- 3) определяется класс средств для выполнения задачи;
- 4) определяются для каждого параметра (или элемента) возможный диапазон изменения (или методы реализации структурной единицы);
- 5) составляется морфологическая карта (матрица), в которую входят наименование элемента (или признак) и варианты исполнения;
- 6) формируются варианты решений в виде ломаной линии, которая соединяет по одному элементу из каждой строки матрицы;
- 7) оценивается целесообразность и возможность реализации вариантов и выбирается наиболее эффективный для заданных условий.

Различают параметрический и структурный синтез. Цель структурного синтеза - получение структуры ТО, цель параметрического - нахождение числовых значений параметров ТО. Если необходимо определить оптимальную структуру и (или) значения параметров ТО, то такая задача называется задачей оптимизации.

Предварительную структуру - состав элементов и совокупность

возможных и даже предпочтительных связей между ними - можно считать заданной. В состав системы включаются элементы, обладающие оптимальными технико-экономическими характеристиками.

В общем случае математическая формулировка задач оптимизации вектора технико-экономических характеристик (ТЭХ) достаточно стандартна. Сущность ее сводится к следующему.

Проектируемая система описывается набором технических характеристик X (x_1, x_2, \dots, x_n), которые являются неизвестными. Различного рода соображения и условия задают систему параметрических ограничений на значения технических характеристик в виде

$$\alpha_{iH} \leq x_i \leq \alpha_{iB}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где α_{iH}, α_{iB} - соответственно допустимые нижняя и верхняя границы изменения характеристики x_i .

Между характеристиками системы существуют различные связи, которые в общем виде описываются функциями $\Phi_r(x)$ -параметра ми всей системы.

Особенности функционирования системы учитываются ограничениями на параметры и показатели

$$\beta_{zH} \leq \Phi_z(x) \leq \beta_{zB}, \quad z = \overline{1, R}, \quad (2)$$

где β_{zH}, β_{zB} соответственно нижняя и верхняя границы допустимых изменений значений параметра $\Phi_r(x)$.

Из показателей набираются наиболее существенные, они классифицируются как критерии $\bar{\Phi}_z(x)$ т.е. как показатели, относительно которых оптимизируется совокупность характеристик.

Технологические условия определяют систему критериальных ограничений

$$\bar{\beta}_{zH} \leq \bar{\Phi}_z(x) \leq \bar{\beta}_{zB} \quad (3)$$

В задаче требуется определить те значения компонентов вектора x , при которых выполняются условия (1)...(3) и оператор K принимает экстремальное значение

$$K[\bar{\Phi}_z(x)] \rightarrow \text{ext}_z \quad (4)$$

Оператор K представляет собой правило совмещения в одной функции различных критериев $\bar{\Phi}_z(x)$.

Правила могут быть различными: свертка критериев, выбор и оптимизация основного из критериев, последовательная оптимизация каждого из критериев с выделением системы критериальных ограничений и т.п.

Определенные в результате решения задачи (1)...(4) значения характеристик $x^\circ(x_1^\circ, x_2^\circ, \dots, x_n^\circ)$ считаются оптимальными.

Однако одно дело - найти оптимальное сочетание технических характеристик системы, и совсем другое - определить конкретный состав системы и связи в ней, т.е. решить собственно задачу проектирования систем.

Формализуем задачу проектирования. Для этого введем обозначения:

- 1) \mathcal{J} - множество типов элементов;
- 2) z_j - число элементов i -го типа, $j \in \mathcal{J}$
- 3) $x_{ij}^d = x_i(z_j)$, $i \in I, j \in \mathcal{J}$ - параметры (свойства, характеристики) элемента i -го типа (значения таких параметров могут быть измерены; каждый элемент характеризуется присущим только ему набором параметров; существуют параметры, присущие каждому элементу);

4) $\varphi_z = \varphi_z[(x_{ij})]$, $z = \overline{1, R}$ - функциональная зависимость, описывающая результат взаимодействия элементов, который проявляется в виде свойств системы;

5) $\varphi_\ell = \varphi_\ell[(x_{ij})]$, $\ell = \overline{1, L}$ -

(5)

- эффективность системы;

6) $\alpha_{iA} \leq x_{ij} \leq \alpha_{iB}$, $i \in I; j \in \mathcal{J}$;

$\beta_{iA} \leq \varphi_z[(x_{ij})] \leq \beta_{iB}$, $i \in I; j \in \mathcal{J}$ -

(6) (7)

- ограничения на параметры и показатели системы;

7) $R_\mu(z_j) \leq R_\mu^\circ$,

(8)

где R_μ° - объем ресурса μ -го вида, выделенного на создание системы;

8) $C = C(z_j)$, $j \in \mathcal{J}$ -

(9)

- стоимость проектируемой системы.

Обозначения 5...8 отражают специфику проектируемой системы и, прежде всего, зависимость всех параметров и показателей задачи от состава элементов z_i .

Из элементов z_i с учетом свойств x_{ij} организуем внутреннюю структуру системы (совокупность связей по r -у показателю). Это значит, что система может характеризоваться различными

структурами, ориентированными на тот или иной показатель.

Системы ограничивающих условий остаются по форме близкими к системам задачи (1)...(4). Однако они имеют специфику.

Так, условие (6) предусматривает ограничение на параметры элементов. При этом граничные значения и должны удовлетворять :

- требованиям стандартизации и унификации элементов различных систем;
- условиям целесообразности использования системы элементов, прототипов или элементов аналогичных систем;
- требованиям, которые предъявляются к свойствам системы, определяемым отдельными ее элементами.

На показатели и параметры системы накладываются ограничения (7) функциональной системы более высокого порядка.

Существуют два варианта постановки задачи оптимизации состава проектируемой системы.

1. Задача минимизации затрат. Требуется найти такие значения $z_j \geq 0$ ($j \in J$, z целочисленные), при которых выполняются условия (5)...(9) и затраты на систему минимальны

$$C(z) \rightarrow \min$$

а эффективность (производительность) системы при решении l -х задач должна быть не меньше заданных уровней z_l^0 :

$$z_l[(x_{ij})] \geq z_l^0, \quad l = \overline{1, L}$$

2. Задача максимизации эффективности. Критерий эффективности формируется оператором свертки K из показателей z_l , при этом могут быть учтены требования к системе со стороны функциональных систем в виде желаемых значений эффективности z_l^0 .

Оператор K максимизируется

$$K[z_l, z_l^0] \rightarrow \max$$

при заданном уровне затрат на систему

$$C(z) \leq S$$

и соблюдении условий (5)...(9).

Любая постановка задачи позволяет получить оптимальный план z_j^0 - число элементов j -х типов, составляющих структуру системы.

Приведем несколько примеров экстремальных задач.

1. Задача о назначении. Для выполнения n независимых операций выделены m рабочих; есть возможность составить матрицу

$$T = \| \| t_{ij} \| \|$$

их производительности, где t_{ij} - время, затрачиваемое i -м рабочим на j -ю операцию. Определить минимальное время выполнения всех операций:

$$\min [F = \max T_i], \quad T_i = \sum_{j \in R_i} t_{ij}, \quad i = \overline{1, m},$$

$$\sum_{i=1}^m R_i = n,$$

где R_i - множество операций, выполняемых i -м рабочим.

В частном случае может быть задано число операций n_i задаваемых для i -го рабочего, причем

$$\sum_{i=1}^m n_i = n$$

При $n_i = 1$ ($i = \overline{1, m}; n = m$)

решить задачу о назначении по критерию мини-макса.

Приведем другую формулировку задачи о назначении, когда учитывается время перехода рабочего с одной операции на другую.

Пусть $L = \| \| l_{kj} \| \|$

где l_{kj} - время перехода любого рабочего с k -й операции на j -ю. Распределить операции среди рабочих и так учесть время переходов, чтобы время выполнения всего комплекса операций было минимальным.

2. Задача минимизации времени выполнения комплекса операций. Пусть требуется выполнить комплекс из n операций. Поставим в соответствие каждой операции вершину графа G , где от вершины i к вершине j проведена дуга, если по технологическим условиям операция i предшествует операции j . Все операции разбиты на m классов, причем в данный момент можно выполнить только одну операцию каждого класса. Известно время выполнения операций (t_i для i -й операции). Определены множества $R_j, j = \overline{1, m}$ - последовательности выполнения операций для каждого класса. Требуется найти очередность выполнения операций каждого класса, приводящую к минимальному времени выполнения всего комплекса.

3. Задача отыскания минимума среднего времени сборки партии изделий. Схему представляет граф G , в котором заданы длины l_{ij} дуг (i, j) . Пусть (i, j) есть минимальный гамильтонов путь l_{ij} между соответствующими вершинами. Он соответствует периоду от сборки изделия i -го вида до сборки изделия j -го вида. Последовательность

$$l_{i_1, i_2}, l_{i_2, i_3}, \dots, l_{i_k, i_{k+1}}, i_{k+1} = i_1$$

называют циклом обработки.

Среднее время обработки одной партии

$$T_{cp} = 1/K \sum_{j=1}^K l_{i_j, i_{j+1}}$$

где K - число путей в цикле.

Задача нахождения цикла сборки изделий с минимальным средним временем сборки одной партии интерпретируется как задача нахождения в графе G контура о минимальной средней длине.

4. Задача определения минимума простоя сборочной линии. Общий подход к задаче состоит в следующем: n операций выполняются на конвейере из m участков. Чтобы конвейер двигался непрерывно, время работы оператора не должно превышать длительности цикла. Пусть на i -м участке исполняют R_i операций. Тогда время занятости на i -м участке а простоя на нем $d_i = S - \sum_{j \in R_i} t_j$

$$S_i = \sum_{j \in R_i} t_j$$

где S - общая длительность цикла операции.

Суммарная величина простоя $d = \sum_{i=1}^m d_i$

должна быть минимальной за счет оптимального распределения операции по участкам. Грош того, можно поставить вопросы:

- а) о минимуме длительности цикла $S = \max S_j$ при заданном числе m участков;
- б) о минимуме числа m при заданной длине цикла S .

Алгоритмы решения задач структурного синтеза можно условно разделить на три группы: переборные, последовательные и алгоритмы трансформации описания.

Переборные алгоритмы могут оценивать только варианты готовых законченных структур; они включают выбор или генерацию очередного варианта, оценку варианта, принятие решения.

Алгоритмы выбора варианта при частичном переборе могут быть основаны на: случайной выборке; использовании эвристических способностей человека в диалоговых режимах работы с ЭВМ; установлении корреляции некоторых параметров, характеризующих структуру, с заданными требованиями к объекту; частичной модификации исходных структур; генерации структур из типовых элементов. Так как общих алгоритмов генерации, ориентированных на структуры разнообразных технических объектов, не существует,

то переборные алгоритмы входят в проблемно-ориентированное математическое обеспечение.

Вариант структуры оценивается с помощью процедур параметрического синтеза, анализа и оптимизации на основе упрощенных и полных математических моделей.

Принятие решения при переборе основано на сравнении результатов оценки очередного варианта структуры с лучшей из ранее рассмотренных структур. Для такого сравнения должен быть выбран некоторый скалярный критерий, объединяющий частные показатели в многокритериальных ситуациях.

Особое место в переборных алгоритмах занимают методы дискретного математического программирования (ДМП), если задачу структурного синтеза удастся сформулировать как задачу ДМП. Однако существующие методы ДМП не отличаются универсальностью, надежностью и экономичностью.

Последовательные алгоритмы решают задачи синтеза поэтапно и могут оценивать получающиеся промежуточные структуры. Различают два способа получения законченной структуры: наращивание и выделение.

При наращивании к некоторой исходной структуре поочередно добавляются нужные элементы. При выделении из некоторой избыточной обобщенной структуры постепенно удаляются лишние элементы.

Алгоритмы трансформации описания разных элементов основаны на однозначном соответствии структурных единиц и сводятся к началу совпадений и подстановок описаний.

Реальные алгоритмы структурного синтеза обычно являются комбинированными, т.е. сочетают черты двух или более подходов. На практике чаще всего используются эвристические приемы синтеза в диалоговом режиме работы с ЭВМ. Развиваются экспертные системы, которые воспринимают от высококвалифицированных специалистов знания в соответствующей предметной области, а затем используют их при решении задач структурного синтеза.

2. СБОРОЧНО-МОНТАЖНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭВА - ОБЪЕКТ ФОРМАЛИЗАЦИИ

1.1. Методы сборочно-монтажного производства

Производство ЭВА и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) отличается большой сложностью, что обусловлено сложностью ее конструкций и многообразием технологических процессов (ТП). В произ-

водстве РЭА и ЭВА применяются практически все известные современные технологии.

Согласно ОС ТПП различают девять видов производства ЭВА. Сборочно-монтажное производство, т.е. сборка и монтаж изделий с разъемными и неразъемными соединениями (монтаж печатный, объемный, смешанный, сваркой и т.п.) относится к восьмому виду. Классификация технологических методов (табл. 1) дает наглядное представление о сложности сборочно-монтажного производства ЭВА. Фрагмент классификатора ТП дан на рис. 1.

Таблица 1

Классификация сборочно-монтажного производства ЭВА

Подкласс (метод) производства		Группа ЭВА по признаку сложности производства	
Код	Наименование	Код	Наименование
I	2	3	4
80	Сборка изделий без кинематики с объемным монтажом и без монтажа	800	Изделия на (в) передвижных объектах (кузовах, прицепах, тележках и т.п.)
		801	Изделия каркасные (стойки, шкафы, пульты, стенды и т.п.)
		802	Изделия на шасси и других объемных основаниях
		803	Изделия на плоских основаниях (панелях, рамах, планках и т.п.)
		804	Изделия на (в) основаниях, имеющих форму тел вращения (валах, трубах и т.п.)
		805	Изделия сложной конструкции
		807	Изделия сборных узлов на печатных платах
8I	Сборка и монтаж изделий на печатных платах	8I0	Изделия одноплатные с дискретными радиоэлементами
		8I1	Изделия одноплатные с микросборками со штыревыми выводами

I	2	3	4
		8I2	Изделия одноплатные с микросборками с планарными выводами
		8I4	Изделия одноплатные с дискретными радиоэлементами и микросборками
		8I6	Изделия межплатной конструкции
		8I8	Модули и одноплатные субблоки
82	Сборка и монтаж изделий микроминиатюрных	820	Микромодули
		82I	Микросборки гибридные тонкопленочные, микросборки тонкопленочные
		822	Микросборки гибридные толстопленочные, микросборки толстопленочные
		823	Большие интегральные гибридные функциональные узлы
84	Сборка и монтаж электрорадиоэлементов (ЭРЭ)	840	ЭРЭ с магнитопроводом из штампованных пластин
		84I	ЭРЭ с ленточным разрезным магнитопроводом
		843	ЭРЭ с магнитопроводом кольцевым и сложной формы
		844	ЭРЭ с магнитопроводом и специальной электроизоляцией
		845	ЭРЭ без магнитопровода на каркасе
		846	ЭРЭ с электромагнитом открытые
		847	ЭРЭ с электромагнитом герметизированные
		848	ЭРЭ с электромагнитом газонаполненные

I	2	3	4
85	Сборка и монтаж изделий с кинематикой	850 851 852 853 854 855 856 857	Изделия с зубчатыми цилиндрическими передачами Изделия с зубчатыми коническими передачами Изделия с червячными передачами Изделия с передачами возвратно-поступательного движения Изделия с фрикционными передачами Валы с муфтами зацепления Изделия с комбинированными передачами Изделия без передач вращательного движения
87	Сборка и монтаж изделий с обмотками	870 871 872 873 874 875	Обмотки открытые однослойные Обмотки открытые многослойные бескаркасные Обмотки открытые многослойные на каркасах Обмотки открытые многослойные спиральные Обмотки кольцевые Обмотки пазовые
88	Сборка и монтаж изделий из проводов и кабелей	880 881 882	Одиночные провода Кабели радиочастотные Кабели многожильные, шнуры

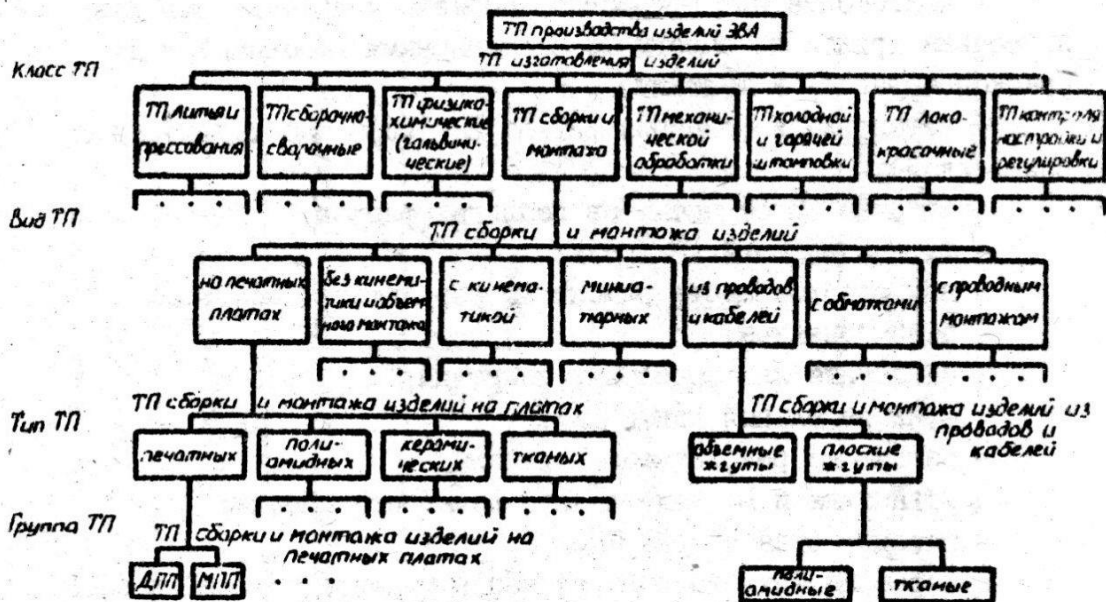


Рис. 1. Фрагмент классификатора технологических процессов изготовления изделий ЭВА

В современном производстве ЭВА постоянно совершенствуются и развиваются пять основных сборочно-монтажных производств: 1) микросборок (МСБ); 2) электронных модулей первого (изделий на печатных платах) и второго (функционально-конструктивных модулей) уровней разукрупнения (разузлования); 3) точных механизмов (изделий с кинематикой); 4) жгутов и кабелей; 5) моточных изделий.

Технологический процесс сборки и электрического монтажа электронных модулей (ЭМ) по составу выполняемых операций является типовым. При этом собственно сборочные операции, т.е. соединение взаимно ориентированных деталей и образование новой детали - сборочной единицы (ДСЕ) - являются лишь частью ТП.

Сборке предшествует операция подготовки изделий электронной техники (ИЭТ) и печатных плат (ПП) к монтажу, при которых они являются объектами последовательной механической и (или) физико-химической обработки. Объект же финишных операций - сборочная единица, т.е. печатная плата с установленными на ней ИЭТ. Она подвергается физико-химической обработке и проверке на функционирование, которые не связаны со сборочным процессом.

В общем случае состав и порядок выполнения основных операций ТП следующие:

- подготовка сборочных комплектов (комплектация);
- подготовка ИЭТ (формовка, обрезка и лужение выводов, напрессовка припоя на выводы МС с планарными выводами) и ПП (расконсервация) к монтажу;
- установка и фиксация ИЭТ на ПП (при необходимости о приклейкой);
- очистка ЭМ от остатков паяльных флюсов;
- функциональный контроль;
- при необходимости ремонт по результатам контроля;
- обезжиривание;
- нанесение лакокрасочных покрытий;
- функциональный контроль;
- ремонт по результатам контроля;
- установка и монтаж гибкого печатного кабеля;
- механическая сборка ЭМ.

Конкретный технологический маршрут, определяющий последовательность выполнения технологических операций и прохождение ЭМ по производственным участкам, зависит: от конструктивных особенностей ЭМ (схемотехнического решения ЭМ; номенклатуры геометрических форм и размеров ИЭТ, требующей оснащения сборочно-монтажного оборудования практически индивидуальным для каждого корпуса ИЭТ рабочим органом); от специализации существующих автоматов и полуавтоматов (обработка 1...3 типов корпусов ИЭТ), что сдерживает их использование в условиях многономенклатурного производства.

Проведенный системный анализ технологического процесса сборки и электрического монтажа ЭМ показал, что существуют различные формы его организации.

Структуру сборочно-монтажного производства можно рассматривать на следующих уровнях: робототехнический комплекс, автоматизированная линия, автоматизированный участок, цех.

В указанных видах сборочно-монтажного производства (см. табл. 1) на любом из уровней иерархии функционируют материальные, информационные и энергетические потоки.

2.2. Формы организации сборочно-монтажного производства

Структура сборочно-монтажного производства определяется составом и расположением во времени и пространстве единиц (или комплексов) технологического оборудования, объединенных между собой связями в виде входных и выходных материальных потоков.

Таблица 2

Разновидности поточных линий

Критерии классификации	Разновидности поточных линий								
Степень непрерывности процесса на ПЛ	Непрерывно-поточная				Прерывно-поточная				
Номенклатура предметов, закрепленных за ПЛ	Однопредметная		Многопредметная		Однопредметная		Многопредметная		
Степень механизации и автоматизации производства	Механи- зиро- ванная	Автома- тизиро- ванная	Механи- зиро- ванная	Автоматизированная		С преоб- ладанием ручного труда	Частично механи- зирован- ная и автома- тизиро- ванная	С преоб- ладанием ручного труда	Частично механи- зирован- ная и автома- тизиро- ванная
Характер чередования предметов на линии	-		После- дова- тельно- parti- онная	Параллельная		Партионная		После- дова- тельно- parti- онная	После- дова- тельно- ком- плектная
Характер и способ поддержания такта	Регламентированный такт, обеспечиваемый конвейерными устройствами					Свободный и полусвободный такт, обеспечиваемый транспортными устройствами периодического действия			

Форма организации ТП изготовления изделия зависит от установленного порядка выполнения операций ТП, расположения оборудования, количества изделий и направления их движения в процессе изготовления. Основными являются две формы: групповая и поточная. Первая реализуется на предметно-групповых участках и групповых поточных линиях. Поточная - на разнообразных поточных линиях (ПЛ)(табл. 2). Она характеризуется: специализацией каждого рабочего места на определенной операции; согласованием и ритмичностью выполнения всех операций ТП на основе постоянства такта выпуска; размещением рабочих мест в последовательности, строго соответствующей ТП.

Первичная структурная единица - производственный участок. Конкретное пространственное построение процесса в пределах участка определяется видом (характером) специализации производства на этом участке.

ЭВА изготавливают на участках с технологической и предметной специализацией. На первых выполняются однородные операции ТП, на, вторых выпускается продукция, однородная по конструктивно-технологическим признакам.

Совокупность изделий, для изготовления которых применяются одинаковые ряды взаимозаменяемых средств технологического оснащения (СТО), называется технологически однородной группой изделий. Признаки, характеризующие технологически однородные группы изделий, в общем случае, принимаются в соответствии с отраслевыми стандартами. В табл. 3 дан пример характеристик технологически однородной группы.

Взаимозаменяемые ТП, оборудование и оснастка представляют собой кортеж ТП, моделей оборудования и оснастка, применяемый для изготовления одной и той же технологически однородной группы изделий. Взаимозаменяемыми вариантами могут быть как комплекта технологического оборудования и оснастки, включая робототехнические комплексы, так и отдельные их модели.

Такая организация производства обеспечивает:

- независимость всех участков в течение смены друг от друга, что повышает стабильность производства, существенно упрощает систему управления, так как работа участков синхронизирована только на уровне стыковки их сменно-суточных заданий (ССЗ), создает возможность развития и модернизации отдельных участков;

- независимость рабочих мест внутри каждого участка друг от

друга, что повышает стабильность их работы, усиливает личную ответственность, заинтересованность каждого рабочего, дает возможность рабочему трудиться в течение смены в индивидуальном ритме;

- максимально гибкую адаптацию к любым технологическим маршрутам, увеличению программ выпуска ЭМ, появлению новых типов ЭМ, новых видов технологического оборудования, внедряемых в производство ЭМ.

Таблица 3

Характеристики технологически однородной группы

Вид производства		Метод производства		Конструктивно-технологические признаки изделия
Код	Наименование	Код	Наименование	
8	Сборочно-монтажное	82	Сборка и монтаж микроминиатюрных изделий	<p>Диапазон рабочих частот</p> <p>Габаритные размеры платы</p> <p>Количество слоев на плате</p> <p>Ширина линий и зазор между ними</p> <p>Способ установки платы в корпус и навесных элементов на плату, другие признаки</p>

Технологическое оборудование надо выбирать с учетом конструктивно-технологических особенностей ЭМ, требований, предъявляемых номенклатурным производством. При этом необходимо учитывать следующие принципы.

Принцип универсальности предполагает инвариантность технологического оборудования к конструктивным особенностям объектов сборки и электрического монтажа.

Принцип совмещения универсальности и высокой производительности предполагает оптимальное сочетание универсальности и степени автоматизации процесса в технологическом оборудовании.

Принцип преимущественной программной переналадки предполагает, что технологическое оборудование при смене объекта в основном должно перестраиваться путем ввода новых управляющих программ.

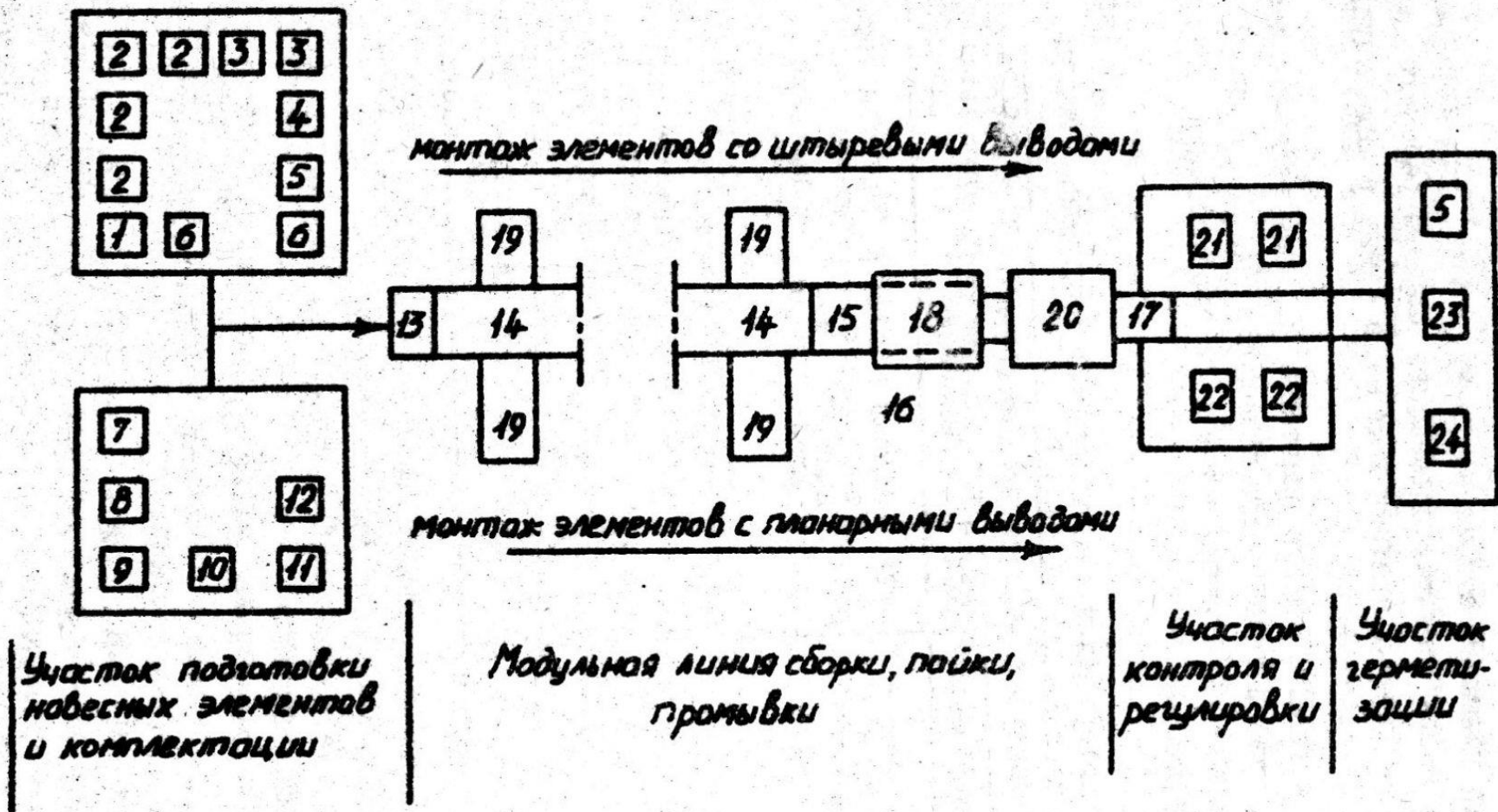


Рис. 2. Структура комплекса "Универсал"

Состав комплекса "Универсал"

Этап технологического процесса	Операции	Оборудование		№ позиции на рис. 2
		Тип	Марка	
Хранение элементов	Комплектация элементов	Стеллаж - элеватор	A-537I-M00.000	I
Подготовка элементов	Формовка ЭРЭ с осевыми выводами	Полуавтоматы зиг-формовки	МФЭП-90I МФЭП-90IA	2
		Автоматы зиг-формовки	АФЭП-90I АФЭП-90IA	3
	Флюсование, лужение, обрезка, формовка ЭРЭ с осевыми выводами	Линия зиг-формовки с касетной загрузкой	ЛПЭ-90I ЛПЭ-90IA	6
	Формовка ЭРЭ типа конденсаторов КМ-5б	Полуавтоматы зиг-формовки	МФЭВ-90I МФЭВ-90I	2
	Лужение осевых выводов	Установка лужения	УЛВ-90С	4
	Кассетирование ИМС с планарными выводами	Автомат распаковки	АР-2	7
	Формовка, флюсование и лужение ИМС с планарными выводами	Линия подготовки ИМС	ЛПМ-90I	8
	Промывка ИМС с планарными выводами	Установка промывки ИМС	Парус-3	9
Установка навесных элементов, пайка, промывка	Установка и пайка ИМС с планарными выводами	Автомат сборки и пайки ИМС	АСП-90I	12
	Установка навесных элементов (ЭРЭ) на плату	Установки программированной сборки плат	УПСП-904	19
	Установка навесных элементов (ЭРЭ и ИМС) на плату	Полуавтомат для монтажа печатных плат	ПМП-90С	19
	Пайка волной припоя	Установка пайки волной	УПВ-90СБ	18
	Промывка плат в сборе	Линия промывки плат	ЛПП-90I	20
	Сборка, пайка, промывка плат	Модульная линия сборки	МЛСП-90I	13 14 15 16 19 20
Контроль, регулировка, настройка	Контроль и диагностика	Аппаратура контроля логических блоков	АКЛБ-90С	21
	Контроль и диагностика	Автоматическая система контроля цифровых устройств	ТЕСТ-790I	22
Промывка, лакировка, сушка	Промывка плат с элементами	Установка промывки с загрузчиком	УПИ-90I МТИ-90I	5
	Лакировка плат	Установка лакировки	УЛПМ-90I	23
	Сушка плат	Установка термораддиационной сушки	УТС-904	24
Изготовление жгутов	Зачистка термостойкой изоляции проводов и кабелей	Установка зачистки проводов лазером	УЗШ-90I	
	Раскладка проводов	Автомат раскладки проводов	АРМ-90I	
Сборка	Сборка	Бокс обеспыленный для сборочных работ	ФС-90IA	10
Регенерация	Регенерация жидкостей	Установка для регенерации жидкостей	УРЖ-90С	11
Стыковка	Стыковка	Модуль стыковочный	-	15, 16
Накопление печатных углов	Накопление	Накопитель	-	17

Таблица 5

Характеристики оборудования комплекса "Универсал"

Назначение оборудования	Марка	Вид и отличительные особенности оборудования	Производительность	Габариты, мм
Формовка осевых выводов ЭРЭ	МФЭП-90I МФЭП-90IA	Полуавтоматы с пневмоприводом, загрузка вручную	400-600 ЭРЭ, шт./ч	420x280x205
	АФЭП-90I АФЭП-90IA	Автоматы с накопителем, загрузка манипулятором	1200 ЭРЭ, шт./ч	504x480x470
Формовка радиальных выводов ЭРЭ	МФЭП-90I МФЭР-90I	Полуавтоматы с пневмоприводом, загрузка вручную	500-600 ЭРЭ, шт./ч	90x123x353 262x152x132
Подготовка ЭРЭ с осевыми выводами	ЛПЭ-90I ЛПЭ-90IA	Линия с групповым флюсованием и лужением, загрузка кассетная манипулятором	1800 ЭРЭ, шт./ч	1300x700x1350
Лужение выводов навесных элементов	УЛВ-90Э	Групповое лужение осевых выводов в таре поставщика, загрузка вручную	250-300 ЭРЭ, шт./ч	545x290x330
Кассетирование ИМС с планарными выводами	АР-2	Выгрузка ИМС из индивидуальной тары, укладка в унифицированные кассеты планарного типа, емкость магазина - 1200 ИМС	1000 ИМС, шт./ч	600x685x1700
Подготовка ИМС с планарными выводами	ЛПМ-90I	Линия с групповым флюсованием и лужением (10 ИМС) и групповой формовкой (5 ИМС), 20 кассет, 2 магазина, 30 ИМС в кассете	1800 ИМС, шт./ч	1250x800x1900
Промывка ИМС с планарными выводами	Парус-3	Спирто-хладонная смесь, 20 кассет, 30 ИМС в кассете, вращение магазина с кассетами - 30 об/мин	t = 90 с	420x330x505
Установка и пайка ИМС с планарными выводами	АСП-90I	ИМС в корпусе 40I.14-3(4) устанавливаются по телеуправлению по программе с точечной или групповой пайкой, 20 кассет, 30 ИМС в кассете, управление от микропроцессора МПУ-90I, загрузка манипулятором	Устан. и пайка 450-600 ИМС, шт./ч, групп. пайка 600-800 ИМС шт./ч	1380x830x1300
Сборка, пайка, промывка ШИ	МЛСП-90I	Модульная линия с кассетной транспортной ШИ, стыковочным и перегрузочным модулями, рабочих мест - 12-40	Скорость конвейера 0,5 - 4 м/мин	15000x3000x1600 при минимальном составе
Пайка волной припой	УПВ-90ЭБ	Пайка осуществляется в составе линии МЛСП-90I и автономно, платы 450x270x12, высота волны 0-12 мм	Скорость конвейера 0,5 - 3 м/мин	2000x700x14600
Установка ЭРЭ на ШИ	УПСП-904	Установка со световой индикацией, слайды - 60 кадров, 60 ячеек с ЭРЭ, смена кадра и ячейки - 2 с	500-600 ЭРЭ, шт./ч	1260x760x1800
Установка ЭРЭ и ИМС на ШИ	ЛМШ-90Э	Установка ЭРЭ, ИМС и микросборок со световой индикацией места на плате и номера кассеты с ИМС, подача ЭРЭ автоматическая, кассет ИМС - 10, ячеек ЭРЭ - 60. Управление - микропроцессорное	500-600 элементов, шт./ч	1260x780x1760
Промывка плат	ЛПП-90I	Линия из модулей мойки и сушки (5 модулей), используется водный раствор "Электрик"	22-160 кассет, шт./ч. Скорость конвейера 0,13-1,2 м/мин	3200x900x1400
Лакировка плат	УЛПМ-90I	Лакировка УР-23I осуществляется окунаем с вращением и центрифугированием	60-120 плат, шт./ч	1060x1240x1900

Принцип интеграции технологического оборудования с АСУ предполагает наличие встроенной в технологическое оборудование системы ЧПУ, либо видеотерминальных устройств и их объединения с АСУ организационными, техническими и программными средствами сопряжения.

В настоящее время рекомендуется, предметно-технологический (смешанный) характер специализации участков. Эта тенденция ориентируется на применение высокопроизводительного сборочно-монтажного оборудования, выполняющего конечные операции сборки по соответствующим программам. В неразрывную технологическую линию можно включить поточно-механизированные и автоматизированные линии с набором технологических модулей.

Примером такой специализации являются механизированные комплексы для сборки и монтажа электронных модулей. Они обладают определенной гибкостью и позволяют собирать изделия в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства. Одним из таких комплексов является "Универсал". Он предназначен для монтажа навесных элементов как со штыревыми, так, и с планарными выводами и состоит из специализированных и универсальных установок. Структура комплекса - модульно-поточная (рис. 2), с размещением оборудования по ходу основных этапов сборки и монтажа; подготовки к комплектации элементов; установки навесных элементов; пайки; промывки собранных модулей; контроля, регулировки, настройки; герметизации (промывки, лакировки, сушки).

Комплекс "Универсал" состоит из четырех участков (см. рис. 2), на которых размещены установки, полуавтоматы, автоматы и механизированные линии (табл. 4). Некоторые характеристики оборудования комплекса "Универсал" приведены в табл. 5.

Примером построения комплекса технологического оборудования по операционному признаку на основе типовых технологических модулей (ТМ), допускающих различные компоновочные структуры, являются технологические структуры робототехнологических участков (РТУ) и робототехнологических линий (РТЛ) изготовления плат тонкопроводного монтажа (ПТМ), представленных соответственно на рис. 3, 4.

Так как количество различных ТМ, входящих в состав РТЛ изготовления ПТМ, может варьироваться в зависимости от необходимой программы выпуска, то целесообразно технологическую структуру РТЛ дифференцировать по группам монтажных операций, т.е. несколько единиц ТМ (автоматов), выполняющих одну операцию, объединить в операционный комплекс (ОК), например ОК прошивки, ОК снятия изоляции и т.д.

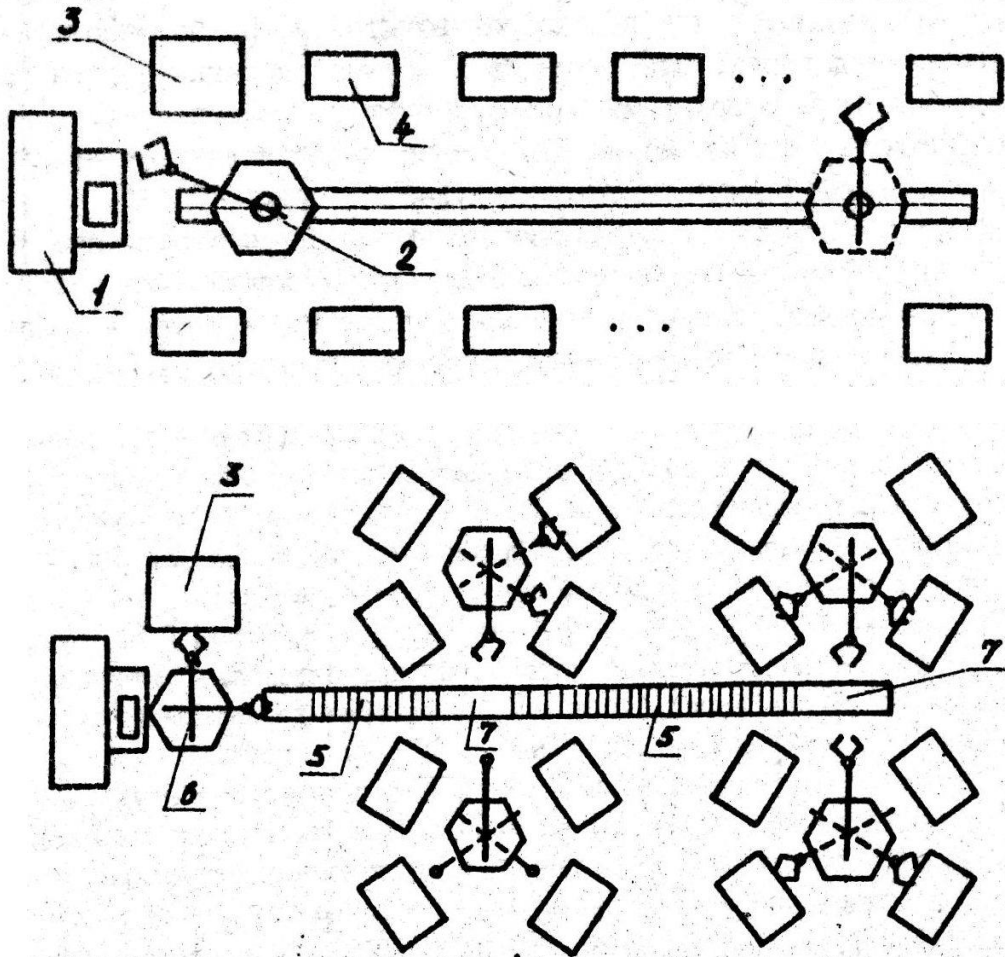


Рис. 3. Структура робототехнического участка (РТУ): 1 - контейнер-накопитель; 2 - транспортно - установочный приемник; 3 - технологический модуль нанесения флюса; 4 - автоматы АРАКС - 5; 5 - реверсивный транспортер; 6 - приемник; 7 - ориентирующее устройство

Под технологическим модулем понимается единица технологического оборудования (автомат), построенная по агрегатному принципу на основе типовых узлов.

3. СБОРОЧНО-МОНТАЖНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭВА КАК СИСТЕМА

Сборочно-монтажное производство можно рассматривать как систему S , поведение которой нас интересует на двух уровнях абстрагирования (двух стратах): технологическом и организационном.

Особенностью технологической страты системы является то, что именно в ней описываются базовые модели протекания ТП, обеспечивающих собственно изготовление продукции. Пусть множество G задает функциональные преобразующие свойства системы S , которые отражают ее способность к изменениям и определяют модели протекания процессов в системе.

Особенностью организационной страты системы является то, что в ней описывается организационная структура.

Под организационной структурой системы сборочно-монтажного производства понимается структура, являющаяся материальной реализацией технологических процессов и заданная на декомпозиционном множестве ее элементов Z с множеством связей U между ними.

Под связями U между элементами в организационной структуре понимают материальные потоки продукции с указанием направления их перемещения между типовыми элементами.

От организационной структуры зависит порядок выполнения операций, расположение технологического оборудования, выпуск изделий, направление их движения в процессе производства и другие параметры.

Технологически однородные группы изделий можно объединить в предметные потоки, исходя из последовательности преобразования предметов труда, количества и общности материалов, деталей, изделий и др., общности физических процессов обработки предметов труда, взаимного расположения предметов труда.

Таким образом, систему S можно охарактеризовать ее элементами (составом), структурой (организацией), а также характером изменения как состава, так и организации.

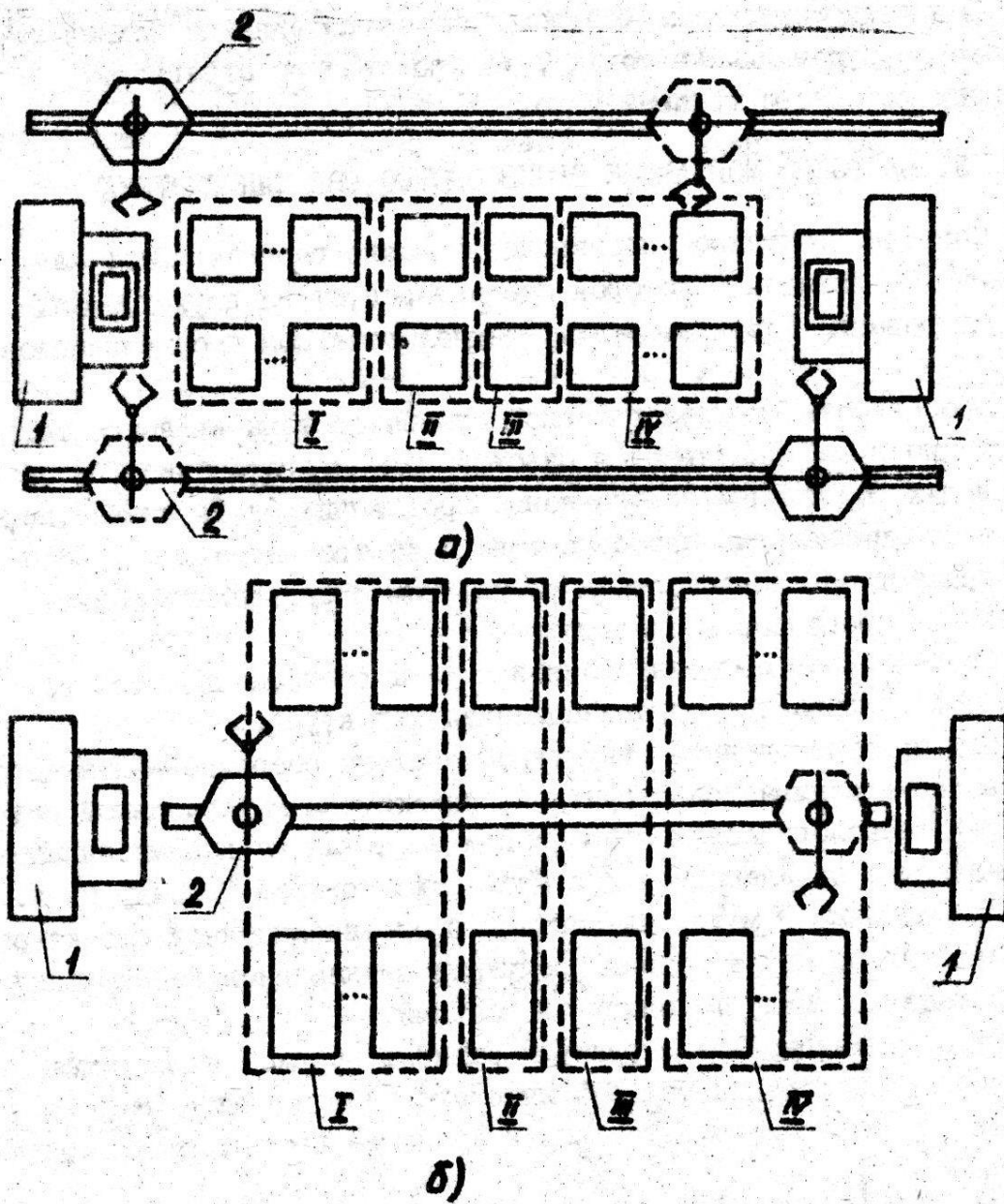
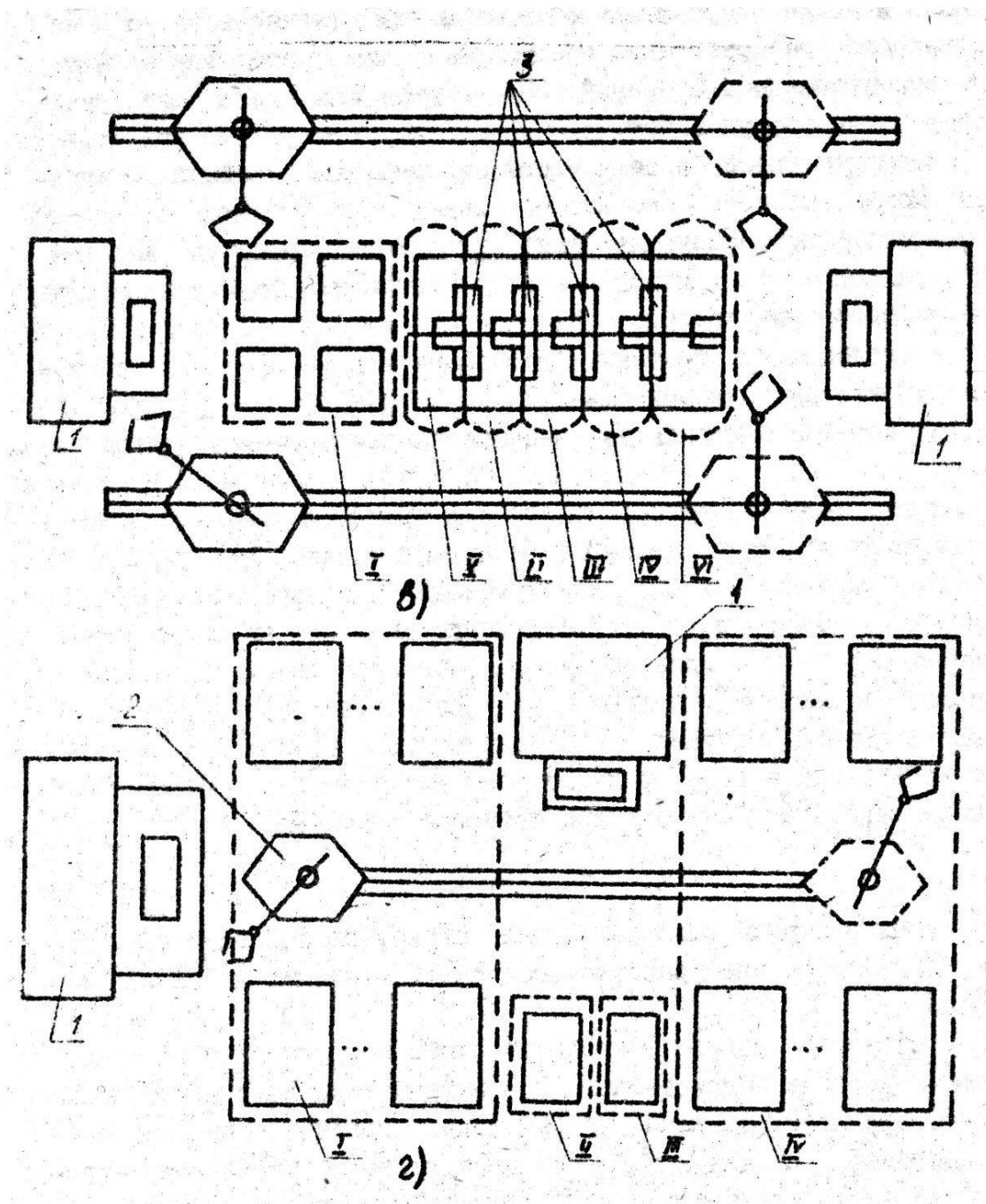


Рис. 4. Структура робототехнических линий (РГЛ): I - операционный комплекс (ОК) прошивки плат-заготовок; II - ОК снятия изоляции; III - ОК нанесения флюса; IV - ОК подгибки и пайки



V - буферная межоперационная зона; VI - ОК промывки;
 I - межоперационный контейнер - напылитель; 2. - робот-манипулятор;
 3 - зона возможного перехода транспортно-технологического приспособления

Элементами системы в общем случае являются единицы специального технологического оборудования, реализующие основные технологические операции, необходимые для количественного и качественного преобразования предметов труда, и средства оснащения вспомогательных операций, необходимые для обеспечения функционирования оборудования.

Элементы любой системы имеют определенные свойства - атрибуты. Можно выделить основные три вида:

- системно образующие атрибуты-свойства, присущие элементам независимо от их участия в системе, но участвующие в формировании системных связей;
- системно приобретенные (основные переменные), которыми наделяет элемент сама система;
- системно нейтральные, несущественные в рамках данной системы.

Можно выделить четыре обобщенных атрибута основного технологического оборудования (ОТО): технологические, структурные, эксплуатационные, технико-экономические. Для всех обобщенных атрибутов с именем i ($i = 1, 4$), допустимых для элемента (ОТО) с именем n . ($n \in \mathbb{N}$ - множество имен (индексов) всех элементов системы), в системе S должно явно определяться множество допустимых значений. Минимальную совокупность определенных значений всех конкретных атрибутов некоторого элемента называют состоянием элемента, а декартово произведение множества

$$M = M_{1n} \times M_{2n} \times \dots \times M_{in}$$

допустимых значений всех конкретных атрибутов элемента (о именем n) называют пространством состояний элемента и обозначают кортежем $\langle n, i, M \rangle$.

В системе S модели технологического оборудования называют технологическими подсистемами. Элементами технологической подсистемы являются различные оборудование, приспособления, роботы, конвейеры, склада и т.д. Основные системно образующие атрибуты элементов технологической подсистемы тесно связаны с локальными функциональными свойствами, которыми единицы оборудования обладают и вне какой-либо конкретной технологической системы. По этим атрибутам и по классам общности функций элементов технологической подсистемы можно задать функциональную структуру подсистемы.

Оборудование, входящее в технологическую подсистему, можно разделить на:

- основное технологическое, которое обеспечивает собственно преобразование предметов труда;
- транспортное и манипуляционное, которое служит средством перемещения предметов труда, в пространстве;
- складское и накопительное, которое предназначено для временного хранения материалов.

Совокупность действий, т.е. процесс, функциональную природу которого можно полностью описать в рамках технологической подсистемы, будем называть обобщенной технологической операцией.

По признакам подобия изделий, операций, оборудования в рамках каждого класса определяется более детальная функциональная структура элементов технологической подсистемы.

Введем формальное определение абстрактной модели технологической системы. Под абстрактной технологической системой понимают кортеж множеств

где N - множество элементов системы;

A - множество конкретных атрибутов - троек. $A = \{ \langle n, i, M \rangle \}$
(здесь $n \in N$ - имя некоторого элемента; i - имя некоторого обобщенного атрибута, $i \in I$ - множество имен обобщенных атрибутов; M - множество значений обобщенного атрибута с именем i , допустимых для элемента с именем n);

$T = \{ \langle N, \leq \rangle \}$ - кортеж структур, здесь " \leq " - частичный порядок на множестве N ;

G - множество функциональных, преобразующих свойств системы;

P - множество, которое задает цели системы, направленность ее внутренней деятельности по увеличению "эффективности".

Показатели эффективности могут быть разными, вплоть до лингвистических со значениями "плохо", "хорошо" и т.д.

Основной задачей технологической подготовки сборочно-монтажного производства является технологическое проектирование, которое включает собственно проектирование ТП сборки и монтажа, проектирование технологической оснастки и специального обоснования, разработку технологических (организационных) структур участков, поточных линий, РТУ, РТЛ.

Уровни проектирования сборочно-монтажного процесса: разработка принципиальной схемы процесса, технологического маршрута, технологических операций, управляющих программ для автоматизированного оборудования и роботов-манипуляторов, математической модели рациональной схемы сборки - монтажа (т.е. определение заделов, начала и конца запуска комплектующих изделий на всех этапах изготовления в зависимости от объема работ, производственных, материальных и людских ресурсов предприятия); расчет маршрутов перемещения материалов между элементами системы и расписаний обработки предметного потока; определение транспортных партий и т.д.

Понятие "проектирование" означает разработку системы сборочно-монтажного производства, понятие "синтез" - создание вариантов системы, не обязательно окончательных. Синтез технологических систем (ТС) состоит в определении на этапе технологического проектирования организационной структуры ТС, в том числе:

- технологических схем и маршрутов движения изделий;
- состава технологического оборудования, реализующего соответствующие операции или их совокупность;
- специализации рабочих мест (модулей);
- формирования производственных подразделений;
- технологических планировок производственных подразделений .

Процессы сборки и монтажа дискретные, поэтому задача синтеза - это задача определения структуры. Особенность структурного синтеза процесса сборки заключается в том, что оптимальный вариант решения выбирают в счетном множестве.

Анализ организационно-технических и технико-экономических показателей процесса функционирования ТС сборочно-монтажного производства (СМП) предусматривает определение показателей производительности, объемов законченного, незаконченного и годового производства изделий, выхода годных изделий, количества продукции в транспортных системах и накопительных устройствах, коэффициентов загрузки и других показателей. Анализ включает также оценку надежности любой технологической структуры, экономической эффективности различных технологических структур и условий сопоставимости вариантов, оптимизацию конструкторско-технологических параметров ЭМ, влияющих на критерии производительности, надежно-

сти и т.п.; определение эффективных границ применения оборудования, структуры системы в пределах изменения годовой программы запуска изделий.

4. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРОЧНО-МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

4.1. Определение программы выпуска изделий

Программа выпуска изделий для участка задается с учетом применяемости сборочных единиц в различных изделиях и потребности в запасных частях:

$$N = \sum_{i=1}^m p_i N_i \left(1 + \frac{K_{3,4}^i}{100}\right)$$

где N - годовой объем выпуска изделий на участке, шт.;

N_i - годовой объем выпуска изделий основного производства L - го наименования, в состав которого входит сборочная единица, шт.;

p_i - количество сборочных единиц в изделии основного производства i - го наименования (применяемость);

$K_{3,4}^i$ - количество сборочных единиц, которое необходимо изготовить дополнительно (запасные части), заданное в процентах от годовой программы N_i ;

m - количество наименований изделий основного производства в годовой программе предприятия.

Годовой объем производства N_i , каждой технологически однородной группы деталей (узлов, блоков) рассчитывается по формулам

$$N_j = \sum_{i=1}^m p_{ji} N_i [1 + (\alpha_j + \beta_j)];$$

$$p_{ji} = \sum_{k=1}^K p_{jik};$$

$$\sum_{i=1}^m p_{ji} N_i = (p_{j1} N_1 + p_{j2} N_2 + \dots + p_{jm} N_m)$$

где p_{jik} - применяемость K -й детали (узла, блока), входящей в j-ю технологически однородную группу в единице i -го изделия в натуральных единицах измерения;

p_{ji} - общая применяемость деталей (узлов, блоков), входящих в j-ю технологически однородную группу в единице i -го из

деляя в натуральных единицах измерения;

α - коэффициент, учитывающий увеличение годового объема производства деталей (узлов, блоков) i -й технологически однородной группы за счет незавершенного производства;

β - коэффициент, учитывающий увеличение годового объема производства деталей (узлов, блоков) j -й технологически однородной группы за счет поставок по кооперации и выпуска запасных частей и т.д.

4.2. Расчет трудоемкости технологически операций

По каждой операции рассчитывается норма штучного времени

$$t_{шт} = t_{оп} (1 + \alpha + \beta) K_{т.п} \cdot K_{у.р}$$

где $t_{оп}$ - величина оперативного времени выполнения сборочной операции, мин;
 α - коэффициент, учитывающий в процентах подготовительно - заключительное время на организационно-техническое обслуживание рабочего места, личные надобности,

$$\alpha = (7,6 \dots 9,6) t_{оп}$$

β - коэффициент, учитывающий время отдыха рабочего;

$K_{т.п}$ - поправочный коэффициент, учитывающий тип производства, $K_{т.п} = 1, 2, \dots, 1, 9$;

$K_{у.р}$ - поправочный коэффициент, учитывающий условия выполнения работы, $K_{у.р} = 1, 0, \dots, 1, 3$.

Общая трудоемкость определяется по схеме технологического процесса суммированием штучного времени по операциям.

Трудоемкость изготовления одного электронного модуля

$$t_{шт} = t_{норм} + \frac{t_{подг} + t_{пер} \cdot p}{K_{см}}$$

где $t_{норм}$ - нормативная трудоемкость изготовления одного электронного модуля;

$t_{подг}$ - время подготовки технологического оборудования в начале смены (при необходимости);

$K_{см}$ - сменная производительность технологического оборудования;

$t_{пер}$ - время перекладки технологического оборудования;

p - количество перекладок оборудования в смену.

4.3. Определение типа производства

Тип производства, т.е. его классификационная категория, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий, может быть определен по коэффициенту закрепления операций. Этот коэффициент показывает отношение числа всех различных технологических операций, выполняемых или подлежащих выполнению подразделением в течение месяца, к числу рабочих мест и вычисляется по формуле

$$K_{3.0} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{P_{я}} = \frac{K_{в.н} F_M \sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n N_i t_{изд.i}}$$

Где $\sum_{i=1}^n O_i$ - суммарное число различных операций;

$P_{я}$ - явочное число рабочих, выполняющих различные операции;

$K_{в.н}$ - коэффициент выполнения норм;

$$\sum_{i=1}^n N_i t_{изд.i}$$

- суммарная трудоемкость программы выпуска

(N_i - программа выпуска каждой i -й позиции номенклатуры; $t_{изд.i}$ - трудоемкость i -й позиции).

Величина $K_{3.0}$ отражает частоту смены различных операций и связанную с этим периодичность обслуживания рабочего информационными и вещественными элементами производства.

Коэффициент закрепления операции $K_{3.0}$ для массового типа производства равен 1; для крупносерийного $1 < K_{3.0} \leq 10$, для среднесерийного $10 < K_{3.0} \leq 20$; для мелкосерийного $20 < K_{3.0} \leq 40$.

Приближенно $K_{3.0}$ рассчитывается так:

$$K_{3.0} = \frac{r_B}{t_{шт.сп}}$$

где r_B - такт выпуска;

$t_{шт.сп}$ - среднее штучное время для выполнения операций сборки единицы продукции.

Такт выпуска изделий

$$r_B = \frac{60 F_g}{N}$$

где F_g - действительный годовой фонд времени рабочего места, ч;

N - годовая программа выпуска изделия (сборочной единицы), шт.

Среднее штучное время можно рассчитать как среднее арифметическое $t_{шт.ср}$, по всем операциям технологического процесса или как трудоемкость одной операции:

$$t_{шт.ср} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K t_{шт.j} = \frac{t_{изг}}{K}$$

где K - число операций технологического процесса.

4.4. Определение количества оборудования и рабочих мест

Номенклатура оборудования устанавливается на основе карт технологического процесса.

При наличии технологических потерь на операциях программа запуска изделий, изготавливаемых на участке, может отличаться от программы выпуска и рассчитываться по формуле

$$N_3 = N \cdot K_3 = N / \beta,$$

(10)

где N_3 , - годовая программа запуска, шт.;

N - годовая программа выпуска, шт.;

K_3 - коэффициент запуска изделий, учитывающий технологические потери;

β - коэффициент выхода годных изделий ($\beta \leq 1$).

Расчеты (10) можно вести как по отдельным операциям, так и по всему их комплексу, идя от последней к первой. Программа запуска на любой операции является одновременно программой выпуска на предшествующей.

Выход годных изделий по всему технологическому процессу определяется как произведение соответствующих коэффициентов по всем последовательным операциям, начиная с той, которая принята за начало отсчета:

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \dots \beta_K$$

Если задана производительность оборудования, то его расчетное количество

$$m_p = \frac{N_3}{Q_{об} \cdot F_g}$$

где $Q_{об}$ - производительность оборудования, шт./ч;

F_g - действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч.

Если известна трудоемкость изделия, то количество оборудования соответствующего вида можно найти, исходя из годового объема работ в норма-
часах с учетом коэффициента многостаночного

оборудования,

$$m_p = \frac{N_3 \sum_{i=1}^m t_i \cdot K_{MO}}{F_g}$$

где t_i - трудоемкость изготовления изделия на оборудовании данного вида (на сдельных работах берется с учетом коэффициента выполнения норм), ч;

K_{MO} - коэффициент многостаночного (многоагрегатного) обслуживания, т.е. число единиц оборудования, обслуживаемого одним рабочим;

m - номенклатура изделий, изготавливаемых на данном оборудовании.

Рассчитанное количество единиц оборудования по каждому виду m_p округляют до принятого m_{np} в сторону увеличения.

Необходимое количество технологического оборудования можно также рассчитать по формуле

$$m_p = \frac{t_{шт} \cdot N_3 \cdot K_{MO}}{F_g \cdot K_{в.н}}$$

где N_3 , - годовая программа запуска электронных модулей;

K_{MP} - коэффициент одновременного обслуживания оборудования,

F_g - действительный годовой фонд работы оборудования;

$K_{в.н}$ - коэффициент выполнения нормы.

Общее количество единиц оборудования на участке

$$m_{np} = \sum_{i=1}^K m_{np_i}$$

где K - число видов оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования участка рассчитывается как средневзвешенная величина

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^K m_{p_i}}{\sum_{i=1}^K m_{np_i}}$$

Для единичного мелкосерийного производства $\eta = 0,8 \dots 0,9$,

для серийного $\eta = 0,85 \dots 0,95$.

Коэффициент загрузки оборудования на i -й операции

$$\eta_i = \frac{N_i}{m_{np_i} \cdot t_{см} \cdot K_i \cdot \delta_i}$$

Количество единиц оборудования на i -й операции

$$m_{пр i} = \frac{N_i}{t_{см} \cdot Q_i \cdot K_{Г_i} \cdot \beta_i}$$

Коэффициент выхода годных изделий с i -й операции

$$\beta_i = \frac{N}{d N_i \beta_{i+1} \dots \beta_n}$$

Действительный фонд времени работы оборудования или рабочих мест учитывается по номинальному фонду F_n с учетом плановых потерь времени на ремонт и регламентные работы:

$$F_g = F_n (1 - K_n)$$

где K_n - коэффициент плановых потерь для оборудования ($K_n = 0,02 \dots 0,07$).

Величина действительного годового фонда времени работы оборудования для сборки РЭА приведен в табл. 6.

Таблица 6

Действительный годовой фонд времени

Наименование оборудования и рабочих мест	Действительный годовой фонд времени, ч	
	при одно-сменной работе	при двух-сменной работе
Сборочно-монтажное оборудование	2030	4015
Механическое оборудование	2030	4015
Автоматы и полуавтоматы	1935	3729
Регулировочное оборудование	2030	4015
Рабочие места на конвейере	1970	3935
Рабочие места без оборудования	2070	4170

Станкоемкость годового объема производства отдельной технологически однородной группы изделий

$$T_c = \frac{N_3}{Q_{об}}$$

Трудоемкость годового объема производства отдельной технологически однородной группы изделий

$$T = \frac{N_3}{Q_{об}} K_{зан}$$

где $K_{зан}$ - коэффициент занятости рабочего при обслуживании технологического оборудования.

Количество основных производственных рабочих

$$m_{раб} = \frac{t_{шт} \cdot N_3 \cdot K_{одн}}{F_{д.р} \cdot K_{в.н}}$$

где $F_{д.р}$ - действительный ходовой фонд работы одного человека (равен 6040 ч).

4.5. Расчет удельных приведенных затрат

Критерием эффективности применения тех или иных технологических процессов, моделей и оснастки, является минимум приведенных затрат на изготовление единицы продукции, т.е. минимум удельных приведенных затрат.

Удельные приведенные затраты на изготовление единицы продукции представляют собой сумму себестоимости и нормативной прибыли и рассчитывают по формуле

$$П_{уд} = C + E_n \cdot K = \frac{П}{N_3}$$

где $П_{уд}$ - удельные приведенные затраты на изготовление единицы продукции, руб.;

C - технологическая себестоимость единицы продукции, руб.;

E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,15$);

K - удельные капитальные вложения в технологическое оборудование, оснастку и производственную площадь, необходимую для их размещения, руб.;

$П$ - приведенные затраты на изготовление годового объема производства технологически однородной группы изделий, руб.

В случае изготовления двух или более технологически однородных групп изделий с помощью одного и того же варианта технологического оборудования и оснастки приведенные затраты $П$ рассчитывают по формуле

$$П = m_{пр} C_0 + C_t \sum_i T_i + C_n$$

где $m_{пр}$ - принятое количество технологического оборудования и оснастки;

C_0 - норматив постоянной части приведенных затрат, приходящихся на единицу оборудования, руб.;

C_i - норматив переменной части приведенных затрат, приходящихся на один час работы оборудования, руб.;

C_n - прочие затраты, вызванные особенностями отдельного производства.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

При проектировании сложных технологических систем для изготовления электронных модулей необходимо знать количественный состав оборудования, входящего в каждый операционный комплекс системы.

Под технологическим комплексом понимается технологическая операция в совокупности с определенными для нее количеством однотипного оборудования и вспомогательными техническими средствами (рис. 5).

Тогда структурными параметрами, определяющими элемент, будут: m_i - количество единиц ТМ, необходимое для обработки изделий на i -й операции; - емкость накопителя перед i -й операцией. Количество ТМ для каждого ОК определяется исходя из заданной программы выпуска годных изделий N .

Для вычисления значений m_i и z_i необходимо знать такие параметры: β_i - коэффициент выхода годных изделий; $t_{ож\ i}$ - допустимое значение времени хранения полуфабрикатов в заделах; Q_i - производительность ТМ на i -й операции; N_i - запуск изделия на операцию; $K_{г\ i}$ - коэффициент готовности единицы оборудования; γ_i - коэффициент, учитывающий организационно-технические потери.

ТС обычно состоят из нескольких ОК. Связи между ними могут быть:

1) жесткими; такие ТС называются сбалансированными (рис. 6а);

2) гибкими; такие ТС называются расчлененными на агрегаты (рис. 6б);

3) гибкими на уровне подсистем (с жесткой связью в подсистеме); такие ТС называются расчлененными на участки (рис. 6в).

Связь между ОК технологической системы определяется логически упорядоченным набором операций и характеризуется величиной межоперационного задела z . Связь между элементами жесткая, если $z = 0$, и гибкая, если $z > 0$.

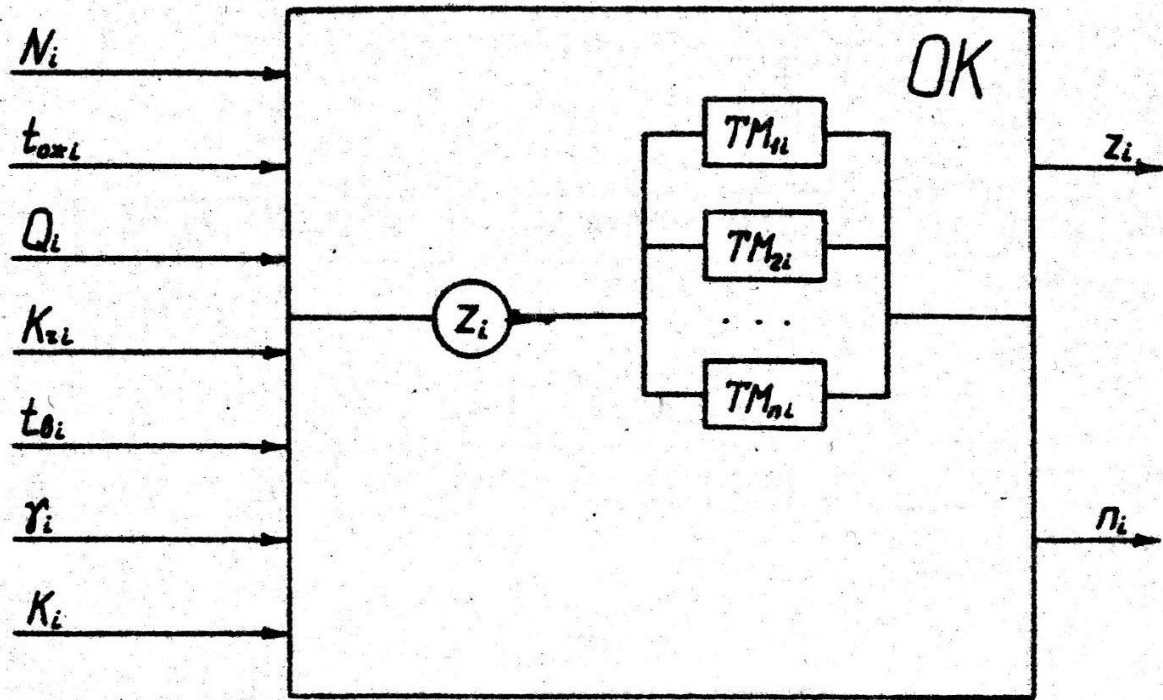
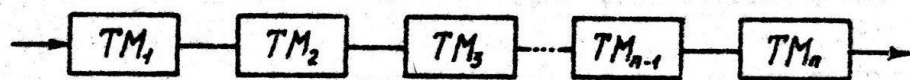
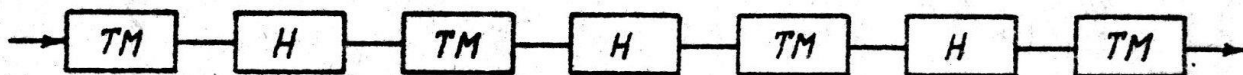


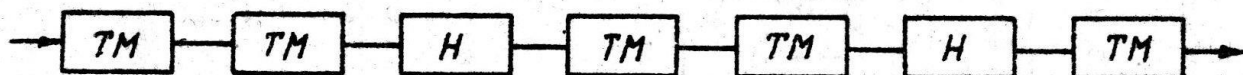
Рис. 5. Структура операционного комплекса



a)



б)



в)

Рис. 6. Варианты связей между ОК

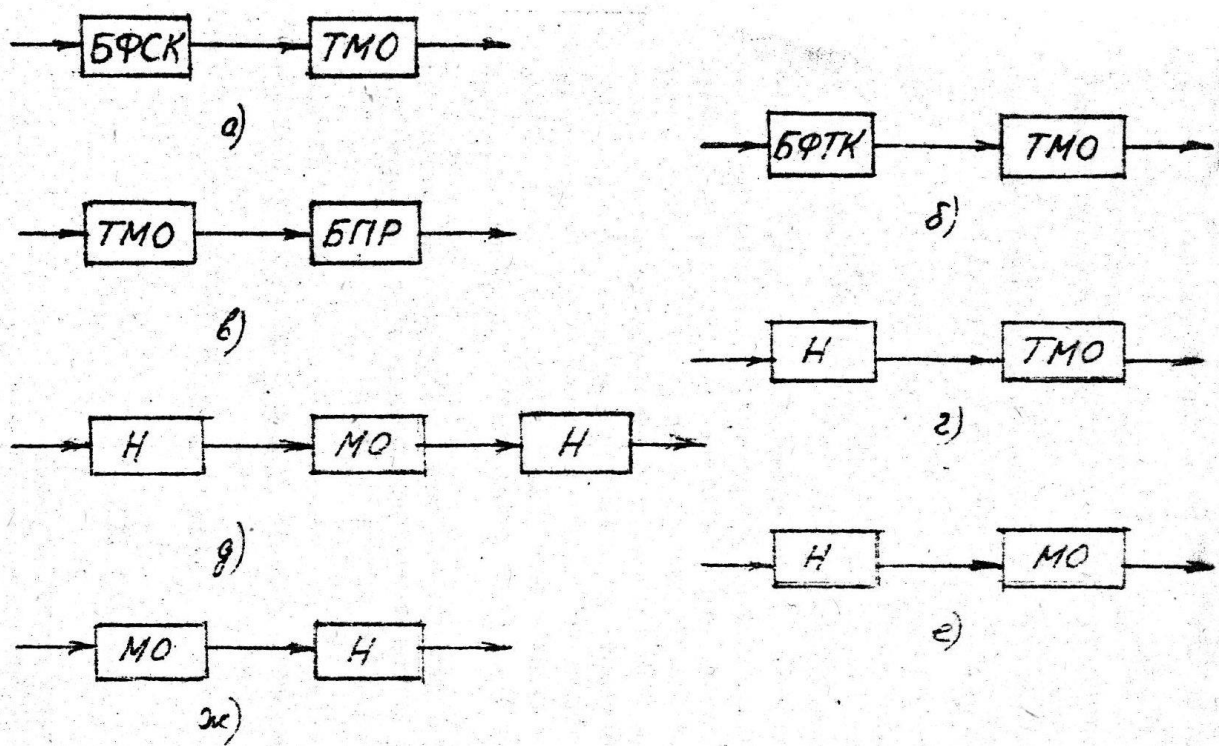


Рис. 7. Структура технологических модулей

ТМ операционных компонентов, из которых компонуются ТС, могут отличаться друг от друга производительностью и надежностью, поэтому не всякая программа выпуска обеспечивает равноценную загрузку ТМ.

Можно выделить четыре типа элементов. Математические модели этих элементов позволяют описать функционирование ТМ всех классов, а именно: ТМО - технологический модуль обработки, определяющий выполнение основных и вспомогательных технологических операций (гаи элементов технологических операций);

БФСК - блоки технологических модулей, определяющие формирование сборочного комплекта;

БФТП - блоки технологических модулей, определяющие формирование транспортных пачек изделий;

БПР - блоки ТМ, определяющие процесс принятия решений в ходе контроля или поиска неисправностей;

ТМХ(ТМН) - ТМ хранения (накопления) изделий между операторами.

ТМО может быть реализован в виде технологического модуля оборки (ТМС) и технологического модуля контроля (ТМК).

Далее ТМО может быть представлен в виде следующих структурных схем, состоящих из модулей обработки (МО) и накопителей (Н).

На рис. 7 представлены различные структуры ТМ: а) - сборки; б) - контроля; в) - транспортировки; г) - хранения; д), е), ж) - обработки.

Необходимо определить состав технологической системы. При этом надо обеспечить минимум приведенных затрат на единицу выпускаемой продукции и выполнить условие

$$N_{min} \leq N \leq N_{max}$$

Количество ТМ на i -м ОК рассчитать по формулам

$$m_i = \left[\frac{\lambda_i}{Q_i} \right] + 1,$$

$$\lambda_i = \frac{N_{min} K_{заг_i}}{F_{g_i}}$$

где λ_i - плотность потока изделий на i -м ОК;

N_{min} - нижняя граница значений заданного интервала годового объема выпуска изделий;

$K_{заг_i}$ коэффициент запуска изделий на i -м ОК;

F_{gi} - годовой действительный фонд времени работы ТМ на i -м ОК

O_i - теоретическая производительность единицы ТМ на i -м ОК, шт./ч.

После расчета количества ТМ на ОК вычисляется фактическая производительность технологической системы Q_{ϕ} с учетом простоев, которые возникают в системе в связи с отказами из-за ненадежности или недостаточной производительности отдельных ТМ.

Расчет проводится по модели, которая строится в соответствии с технологическим маршрутом изготовления изделий и представляет собой систему гибко связанных ОК. Каждому из них соответствует определенная технологическая операция, а количество единиц оборудования принимается равным рассчитанному количеству того ОК, на котором выполняется соответствующая технологическая операция, т.е. $m_{\theta} = m_i$ для всех $\theta \in \{\theta_i\}$, где $\{\theta_i\}$ - номера технологических операций, выполняемых на i -м ОК.

Производительность оборудования в расчетной модели принимается равной доле производительности оборудования соответствующего ОК. Она пропорциональна коэффициенту запуска изделий на соответствующую технологическую операцию $\theta \in \{\theta_i\}$:

$$Q_{\theta} = \frac{Q_i \cdot k_{\text{зап.}\theta}}{k_{\text{зап.}i}}$$

где $k_{\text{зап.}Q}$ - коэффициент запуска изделий на Q -ю технологическую операцию.

Фактическую производительность комплекса определяют последовательно от первого участка расчетной модели к последнему, причем сначала рассматривают вместе первый и второй участки, затем они объединяются в один, к ним присоединяется третий - и так до последнего участка. При этом используются следующие математические зависимости:

$$Q = \frac{Q_M}{1 + \frac{Q_M(Q_{\delta} - Q_{\xi})}{Q_{\xi} Q_{\delta}} B \delta}$$

где

$$Q_M = \min(Q_{\theta} m_{\theta}; Q_{\theta+1} m_{\theta+1})$$

$$Q_{\delta} = \max(Q_{\theta} m_{\theta}; Q_{\theta+1} m_{\theta+1})$$

$$Q_M = \min(Q_\theta m_\theta K_{T\theta}; Q_{\theta+1} m_{\theta+1} K_{T(\theta+1)});$$

$$Q_B = \max(Q_\theta m_\theta K_{T\theta}; Q_{\theta+1} m_{\theta+1} K_{T(\theta+1)})$$

Здесь K_T - коэффициент технического использования оборудования соответствующего ОК.

Коэффициент B , учитывающий наложенные простои, можно задать допустимым значением $B = 0,1 \dots 0,2$, а межоперационные заделы, обеспечивающие заданную величину B , рассчитать по формуле

$$z = \begin{cases} \frac{\ln\left(\frac{1-h}{B} + h\right)}{(1-h)\left[\frac{1}{Q_B(hT_{BM} + T_{BS})} + \frac{Q_B - Q_M}{Q_B Q_M (T_{BM} + T_{BS})}\right]} & \text{если } h \neq 1, \\ Q_M (T_{BM} + T_{BS}) \left(\frac{1}{B} - 1\right), & \text{если } h = 1, \end{cases}$$

где $h = \frac{Q_M(Q_B - Q_B)}{Q_B(Q_B - Q_M)}$

T_{BM} T_{BS} - время восстановления работоспособности ОК с производительностью Q_M и Q_B соответственно.

Коэффициент γ , учитывающий многопоточность ОК,

$$\gamma = \left(\frac{1 - K_{TB}}{K_{TB}} + C\right)^{-1} K_{TB}^{m_B - 1} \times$$

$$\times \left[\frac{1 - K_{TB}^{m_B}}{K_{TB}^{m_B}} + m_M^{-1} K_{TM}^{m_M - 1} \sum_{i_B=1}^{m_B} \sum_{i_M=1}^{m_M} D(i_B, i_M) \right]$$

Здесь

$$C = \begin{cases} 1 - \frac{Q_B m_B}{Q_M m_M} \\ 0 \end{cases},$$

$$D^*(i_B, i_M) = \begin{cases} D^*(i_B, i_M) \\ 0 \end{cases}$$

если $Q_B m_B < Q_M m_M$;

если $Q_B m_B \geq Q_M m_M$,

если $D^*(i_B, i_M) > 0$,

если $D^*(i_B, i_M) \leq 0$,

где

$$D^*(i_B, i_M) = (i_M - \frac{Q_B}{Q_M} i_B) C_{m_B}^{i_B} C_{m_M}^{i_M} \left(\frac{1 - K_{TB}}{K_{TB}} \right)^{m_B - i_B} \left(\frac{1 - K_{TM}}{K_{TM}} \right)^{m_M - i_M};$$

$$i_M = 1, 2, \dots, m_M; i_B = 1, 2, \dots, m_B.$$

Фактическая производительность рассчитывается для всех вариантов состава оборудования. Каждый новый вариант отличается от предыдущего количеством оборудования на одном из ОК. Количество оборудования следует изменять на

участке с минимальной пропускной способностью $Q_0 m_0 K_{T0}$.

При построении целевой функции Π необходимо учитывать те величины, которые зависят от количества ТМ.

Алгоритм расчета вариантов ТС приведен на рис. 8.

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРЯМОТОЧНОЙ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОЙ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИЗГОТОВЛЕНИЕМ ИЗДЕЛИЙ

Проектирование структуры автоматизированного участка сборки и монтажа предполагает решение следующих задач: выбор оборудования; определение количества, специализации рабочих мест и входящих в состав участков подучастков, поточных линий; расчет параметров подучастков и линий; распределение объектов производства по подучасткам, поточным линиям, оборудованию, рабочим местам; оценка эффективности работы участка предлагаемой структуры.

Методика расчета данных задач включает три основных этапа. На первом проводится конструкторско-технологический анализ собираемых узлов с учетом применяемого оборудования и типовых технологических процессов, схема которого приведена на рис. 9. Для формализации введем следующие термины:

специализированное оборудование - оборудование, приспособленное для выпуска изделий одного наименования;

технический уровень производства - степень прогрессивности технологических процессов, оборудования и оснастки, применяемых для изготовления изделий заданного объема производства;

оптимальная структура парка технологического оборудования - соотношения между сопряженными группами (моделями) технологического оборудования - обеспечивающая выполнение производственной программы при заданных номенклатуре и уровне качества изделий,

с минимальными совокупными затратами живого и овеществленного труда с учетом социальных и экологических последствий производства;
микротехпроцесс (МТП) - последовательность подготовки и сборки элементов, описание которой дополнено характеристиками типа элемента.

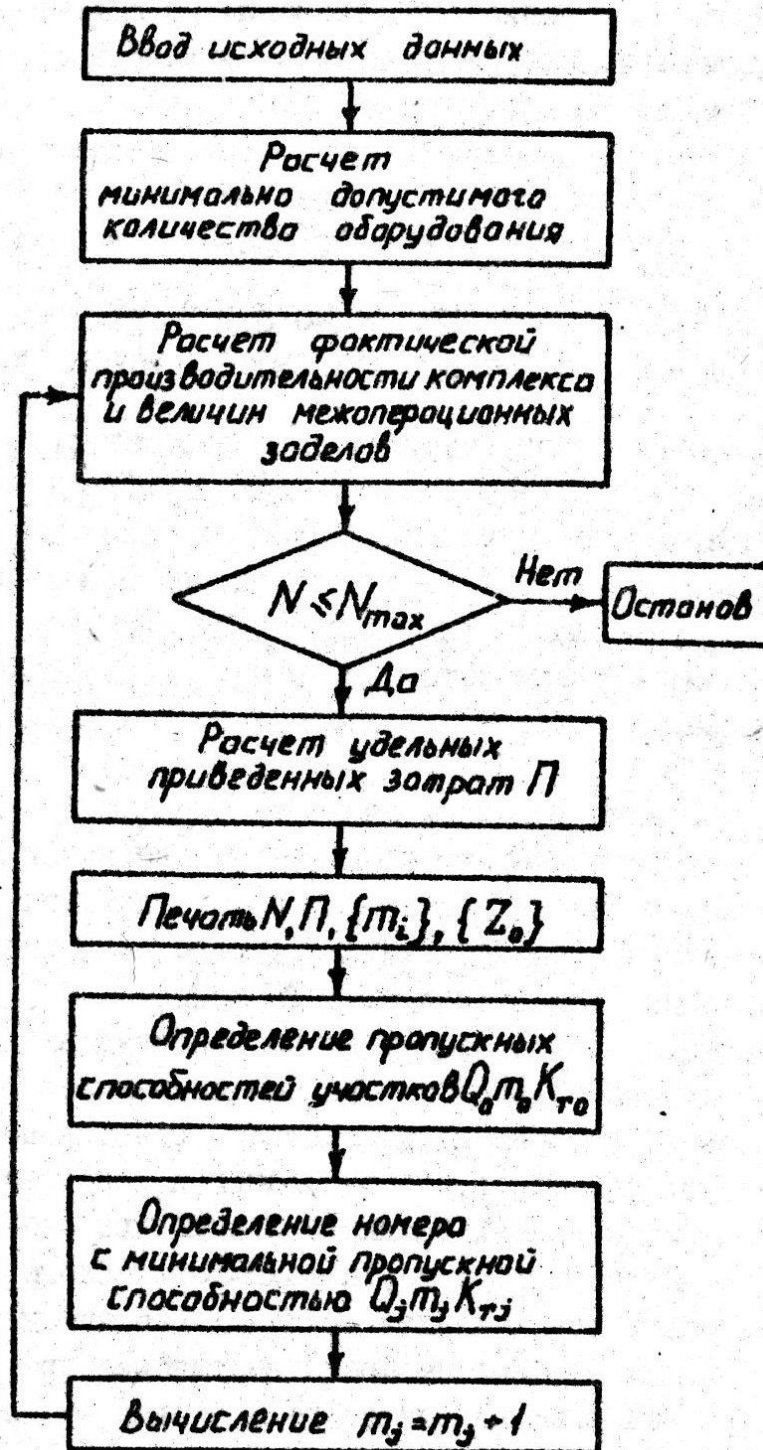


Рис. 8. Алгоритм расчета вариантов ТС

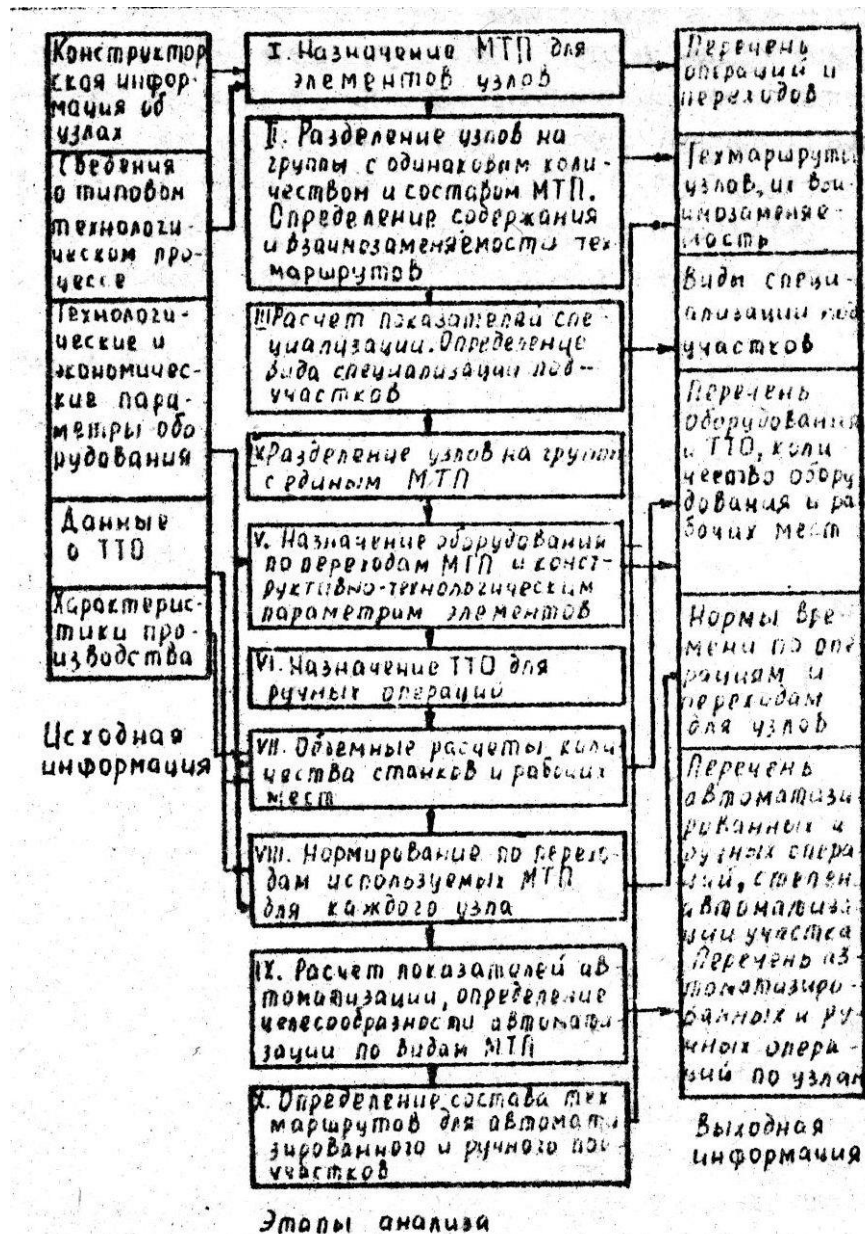


Рис. 9. Схема методики конструкторско-технологического анализа

В ходе анализа определяют типы оборудования, которые могут быть использованы при сборке отдельных элементов узлов, и количество рабочих мест для выполнения ручных операций, а также устанавливают связи между отдельным оборудованием и рабочими местами, которые обусловлены технологическим процессом.

На втором этапе из полученного множества элементов структуры формируют варианты многономенклатурных поточных линий (МПЛ), вычисляют временные и стоимостные характеристики их работы.

На третьем этапе из множества вариантов МПЛ выбирают некоторое подмножество, удовлетворяющее критериям оптимальности структуры, распределяют узлы по МПЛ, определяют плановые экономические показатели работы участков с выбранной структурой.

Общую задачу проектирования структуры участка, состоящего из параллельных автоматизированных МПЛ, можно формализовать следующим образом.

Обозначим через V множество значений конструктивно-технологических параметров собираемой на участке совокупности узлов. Элемент ω множества W ($\omega \in W$), характеризующий конкретную совокупность, определяется набором параметров $N; P_1, \dots, P_m$;

$P_{11}, \dots, P_{m1}, \dots, P_{mk}$, каждый из которых принимает одно из целых значений заданного интервала изменения:

$$N \in [N^1, N^2]; P_j \in [P_j^1, P_j^2], j = \overline{1, m};$$

$$P_{jk} \in [N_{jk}^1, N_{jk}^2], j = \overline{1, m}, k = \overline{1, K},$$

где N - программа выпуска;

P_j - применяемость узла j -го типа;

P_{jk} - применяемость элементов K -го типа в узлах j -го типа;

m - количество типов узлов;

K - количество типов элементов.

Эти параметры можно выразить через временные и стоимостные характеристики элементов процесса: переходов, операций, групп операций. Тогда каждому из m узлов будут соответствовать характеристики $t_{ij}(\omega_j)$, $c_{ij}(\omega_j)$ соответственно время и затраты на изготовление на i -й линии узлов j -го типа. Из множества имеющегося оборудования и рабочих мест можно сформировать n вариантов линий, которые характеризуются: а) S_i - стоимостью организации i -й линии; б) F_i - фондом времени работы i -й линии с учетом потерь, обусловленных организацией линии и совокупностью изготавливаемых на ней узлов.

Пусть x_{ij} - переданная принимающая значение 1, если узлы j -го типа изготавливаются на i -й линии, и 0 - в противном случае; N_i - множество соответствующих пар (i, j) ; y_i - переданная, принимающая значение 1, если i -я линия входит в состав участка, и 0 - в противном случае. Необходимо определить, какие варианты линий войдут в состав участка и как при этом распреде-

лятся узлы. В качестве критерия используют минимальную величину приведенных затрат на организацию и эксплуатацию участка при условии выполнения задания в плановые сроки.

Математическая постановка задачи

1. Требуется минимизировать функции приведенных затрат

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}(\omega_j) x_{ij} + \sum_{i=1}^n S_i y_i \quad (11)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, m} \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^m t_{ij}(\omega_j) x_{ij} \leq F_i y_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} - y_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n} \quad (14)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m} \quad (15)$$

$$\{x_{ij} = 0 \mid (i, j) \in N_t\}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m} \quad (16)$$

2. Выбрать варианты линий и распределить по ним узлы таким образом, чтобы выполнялись ограничения:

(12), т.е. должны быть изготовлены узлы всех m типов;

(13), т.е. время работы каждой линии не должно превышать ее планового срока;

(13), (14), т.е. в состав структуры не должны входить линии, за которыми не закреплены изделия;

(11), т.е. суммарные затраты на организацию и эксплуатацию участка минимальны.

Коэффициенты модели имеют следующий вид:

$$c_{ij}(\omega_j) = c_{ij}^0(\omega_j) + m_j c_{ij}^1(\omega_j)$$

$$t_{ij}(\omega_j) = t_{ij}^0(\omega_j) + m_j t_{ij}^1(\omega_j)$$

где - $c_{ij}^0(\omega_j), t_{ij}^0(\omega_j)$ соответственно затраты и время на подготовку i -й линии к изготовлению группы из P_j изделий j -го типа;

$$c_j^i(\omega_j), t_j^i(\omega_j)$$

- затраты и время на изготовление отдельного узла j -го типа на i -й линии.

Приведенная задача является многопараметрической. Ее можно аппроксимировать решениями однопараметрических задач (11)...(16) при фиксированных значениях отдельных параметров. Параметрические задачи можно отнести к задачам целочисленного линейного программирования.

Решение (11)...(16) при фиксированных значениях параметров определяет вариант структуры, а решение остальных однопараметрических задач - границы области оптимальности этого варианта для различных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах / А.В.Егунов, Б.Л. Жоржوليани, В.Г. Муравский, В.В.Жуков; Под ред. В.Г.Журавского. - М.: Радио и связь, 1988. - 280 с.
2. Алексеев В.Г., Камышная Э.Н., Нестеров Ю.И. Алгоритмы и программы решения задач сборочно-монтажного производства ЭВА с помощью ЭВМ. - М.: МВТУ, 1989. - 32 с.
3. Бондаренко О.Е., Федотов Л.М. Конструктивно-технологические основы проектирования микросборок. - М.: Радио и связь, 1988. - 162 с.
4. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. - Л.: Энергоиздат, 1982. - 146 с.
5. Автоматизация проектирования в производстве микросборок и электронных модулей / Меткин Н.П., Лапин М.С., День -Добренко Б.Н., Доморацкий И.А. - М.: Радио и связь, 1986. - 280 с.
6. Технологическая подготовка гибких автоматизированных сборочно-монтажных производств в приборостроении / Меткин Н.П., Лапин М.С., Гольц В.И., Алексеев П.И. - Л.: Машиностроение, 1986. - 192 с.
7. Моисеева Н.К. Функционально-стоимостной анализ в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1987. - 262 с.
8. Сборник задач и упражнений по технологии РЭА: Учебное пособие / А.С.Белява, К.И.Билибин, К.Б.Лукин и др.; Под ред. Е.М.Парфенова. - М.: Высшая школа, 1982. - 255 с.
9. Соломенцев Ю.М Сооэнкин В.Л. Управление гибкими производственными системами. - М.: Машиностроение. 1986. - 352 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Методологические аспекты формализации сборочно-монтажного производства ЭВА	4
2. Сборочно-монтажное производство ЭВА - объект формализации	11
2.1. Метода сборочно-монтажного производства	11
2.2. формы организации сборочно-монтажного производства	16
3. Сборочно-монтажное производство ЭВА как система	23
4. Расчет основных элементов сборочно-монтажного производства	29
4.1. Определение программы выпуска изделий	29
4.2. Расчет трудоемкости технологических операций	30
4.3. Определение типа производства	31
4.4. Определение количества оборудования и рабочих мест	32
4.5. Расчет удельных приведенных затрат	35
5. Определение оптимального состава оборудования технологической системы	36
6. Проектирование структуры прямоточной многономенклатурной поточной линии с последовательным изготовлением изделий	43
Литература	48

Редакция заказной литературы

Виктор Григорьевич Алексеев, Константин Иванович Билибин,
Елена Вячеславовна Кротова

Формализованное описание технологических задач
сборочно-монтажного производства
электронно-вычислительной аппаратуры

Заведующая редакцией Н.Г.Ковалевская
Редактор Н.Н.Филимонова
Корректор Л.И.Малютина

Подписано в печать 17.11.89. Формат 60x90/16. Бумага офсетная.
Усл.печ.л,3,25+2 вкл.
Заказ № 1254

Уч.-изд.л. 3,04.
Бесплатно.

Тираж 500 экз.
Изд. № 147.

Издательство МГТУ, типография МГТУ.
107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.