

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, К. И. 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 МГТУ
1989**

ББК 34.9
А47

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.Л. 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

(с) 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, так же 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 оценить 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], систем» - это множество расположенных в определенном порядке элементов со своими отношениями, связями и функциями, образующее определенную целостность; подсистема - группа элементов, выделенная из системы и 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 и

описания структур рекомендуется использовать специальную литературу [4].

I. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ СБОРОЧНО-ИНТЕГРАЦИОННОГО 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 систем 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 взаимосвязи

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 $\Phi_2(x)$ - параметрами всей системы.

Особенности функционирования системы учитываются ограничениями на параметры и показатели

$$\beta_{2H} \leq \Phi_2(x) \leq \beta_{2B}, \quad z = \overline{1, R}, \quad (2)$$

где β_{2H}, β_{2B} - соответственно нижняя и верхняя границы допустимых изменений значений параметра $\Phi_2(x)$.

Из показателей выбираются наиболее существенные, они классифицируются как критерии, т. е. как показатели, относительно которых оптимизируется совокупность характеристик.

Технологические условия определяют систему критериальных ограничений

$$\bar{\beta}_{2H} \leq \bar{\Phi}_2(x) \leq \bar{\beta}_{2B}. \quad (3)$$

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

$$K[\bar{\Phi}_2(x)] \rightarrow \text{ext}. \quad (4)$$

Оператор K представляет собой правило совмещения в одной функции различных критериев $\bar{\Phi}_2(x)$. 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

$x^0(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$ 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 j -го типа $j \in \mathcal{J}$;
- 3) $x_{ij} = x_i(z_j), i \in I, j \in \mathcal{J}$ - параметры (свойства, характеристики)

элемента j -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) $\varepsilon_\ell = \varepsilon_\ell[(x_{ij})], \ell = \overline{1, L}$ - эффективность системы;

- 6) $\alpha_{i\ell} \leq x_{ij} \leq \alpha_{i\ell}, i \in I; j \in \mathcal{J};$ (6)

$$\beta_{i\ell} \leq \varphi_z[(x_{ij})] \leq \beta_{i\ell}, i \in I; j \in \mathcal{J} \quad (7)$$

- ограничения на параметры и показатели системы;

- 7) $R_\mu(z_j) \leq R_\mu^0,$ (8)

где R_μ^0 - 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_j .

Из элементов z_j с учетом свойств x_{ij} организуем внутреннюю структуру системы (совокупность связей по z -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 $\alpha_{ij} \approx \alpha_{i\bar{j}}$ 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.

I, 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 :

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

2. Задача максимизации эффективности. Критерий эффективности (Нормируется 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.

I. 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 операции. Определить минимальное время выполнения всех операций:

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

где R_i - множество операций, наполняемых 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 к другой. Пусть $L = \|l_{kj}\|$, где l_{kj} - время перехода любого рабочего от 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.

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 между соответствующими вершинами. Он соответствует периоду l_{ij} от сборки изделия i -го вида до сборки изделия j -го вида. Последовательность

называют циклом обработки.

Среднее время обработки одной партии

$$T_{cp} = 1/k \sum_{j=1}^k t_{i, i_{j+1}}$$

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 с минимальной средней длиной.

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

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

простой на нем

$$d_i = S - \sum_{j \in R_i} t_j$$

где S - общая длительность цикла операций.

Суммарная величина простоя $d = \sum_{i=1}^m d_i$ должна быть минимальной за счет оптимального распределения операций по участкам. Кроме того, можно поставить вопросы:

- а) о минимуме длительности цикла $S = \max S_i$ 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, характеризующее 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

2.1. 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 ЗВА применяются практически все известные современные технологии.

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

Таблица 1 – Классификация сборочно-монтажного производства ЗВА

Полкласс (метод) производства		Группа ЗВА 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 (стойка, шкафы, пульта, 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
81	Сборка и монтаж изделий на печатных платах	810	Изделия одноплатные с дискретными радиоэлементами
		811	Изделия, одноплатные с микросборками со штыревыми выводами

I	2	3	4
		812 814 816 818	Изделия одноплатные с микросборками с планарными выводами Изделия одноплатные с дискретными радиоэлементами и микросборками Изделия межплатной конструкции Модули и одноплатные субблоки
82	Сборка и монтаж изделий микроминиатюрных	820 821 822 823	Микромодули Микросборки гибридные тонкопленочные, микросборки тонкопленочные Микро сборки гибридные толстопленочные, микросборки толстопленочные Большие интегральные гибридные функциональные узлы
84	Сборка и монтаж электрорадиоэлементов (ЭРЭ)	840 841 843 844 845 846 847 848	ЭРЭ с магнитопроводом из штампованных пластин ЭРЭ с ленточным разрезным магнитопроводом ЭРЭ с магнитопроводом кольцевым и сложной формы ЭРЭ с магнитопроводом и специальной электроизоляцией ЭРЭ без магнитопровода на каркасе ЭРЭ с электромагнитом открытые ЭРЭ с электромагнитом герметизированные ЭРЭ с электромагнитом газонаполненные

85	Сборка и монтаж изделий с кинематикой	860	Изделия с зубчатыми цилиндрическими передачами
		851	Изделия с зубчатыми коническими передачами
		852	Изделия с червячными передачами
		853	Изделия с передачами возвратно-поступательного движения
		854	Изделия с фрикционными передачами
		855	Валы с муфтами зацепления
		856	Изделия с комбинированными передачами
		857	Изделия без передач вращательного движения
87	Сборка и монтаж изделий с обмотками	870	Обмотки открытые однослойные
		871	Обмотки открытые многослойные бескаркасные
		872	Обмотки открытые многослойные на каркасах
		873	Обмотки открытые многослойные спиральные
		874	Обмотки кольцевые
		875	Обмотки пазовые
88	Сборка и монтаж изделий из проводов и кабелей	880	Одиночные провода
		881	Кабели радиочастотные
		882	Кабели многожильные» шнуры

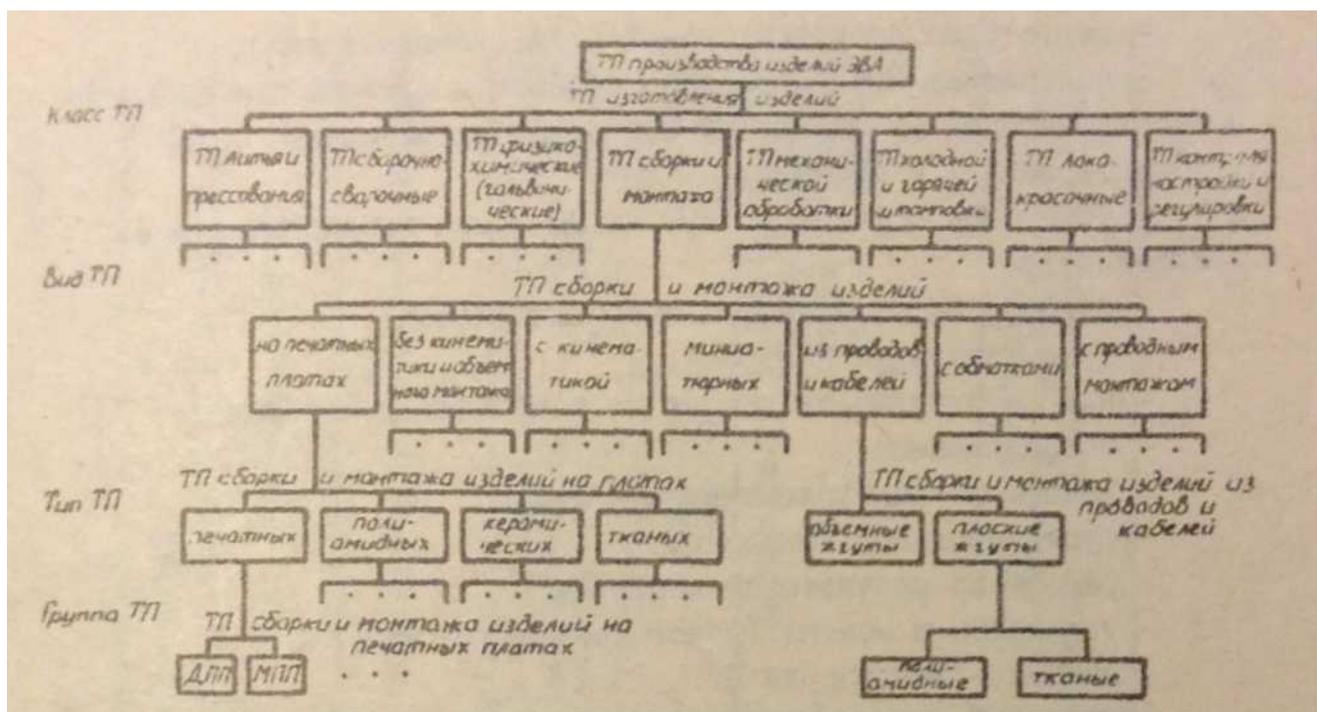


Рис. 1. Фрагмент классификатора технологических процессов изготовления изделий ЭВА

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 в зашлю 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 функционировании, 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, на- прессовка' припоя на вывода МС с планарными выводами) и ПП (расконсервация) к монтажу;
- установка и фиксация ИЭТ на Ш (при необходимости с приклейкой);
- очистка ЗИ 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 ЗМ.

Конкретный технологический маршрут, определяющий последовательность выполнения технологических операций и прохождение ЭМ по производственным участкам, зависит: от конструктивных особенностей ЭМ (схемотехнического решения JM; 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 одерживает 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. I) 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.

Критерий классификации	Разновидности поточных линий								
Степень непрерывности процесса на ПЛ	Непрерывно - поточная				Прерывно-поточная				
Номенклатура предметов закупленных за ПЛ	Одно предметная		Многопредметная			Одно предметная		Многопредметная	
Степень механизации и автоматизации производства	Механизированная	Автоматизированная	Механизированная	Автоматизированная		С преобладанием ручного труда	Частично механизированная и автоматизированная	С преобладанием ручного труда	Частично механизированная автоматизированная
Характер переловки предметов на линии			Последовательно-партийная	Параллельная		Партийная		Последовательно-партийная	Последовательно-комплексная
Характер и способ поддержания такта				Изделий различных наименований	Одинаковых или различных наборов изделий				
	Регламентированный такт, обеспечиваемый конвейерными устройствами:				Свобольный и полусвобольный такт, обеспечиваемый транспортными устройствами периодического действия				

Форма организации ТД 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.

ЗЗА 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 оснастки, применяемый для изготовления одной и той же технологически однородной группы изделий. Взаимозаменяемыми вариантами могут быть как комплекты 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 Ц.

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>Габарит я: те размеры платы</p> <p>Количество слоев на плато</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"

Принцип интеграции технологического оборудования о АСУ предполагает наличие встроенной в технологическое оборудование системы ЧПУ, либо видеотерминальных устройств и гас объединение о АСУ организационными, техническими к 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 оборки 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), о размещением оборудования по ходу основных этапов сборки и монтажа; подготовки и 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 (РГЛ) изготовления плат то шло про водного монтажа (ГГШ), представленных соответственно на рис. 3, 4.

Так как количество различных ТМ, входящих в состав РТЛ изготовления ШМ, может варьироваться в зависимости от необходимой программ 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.

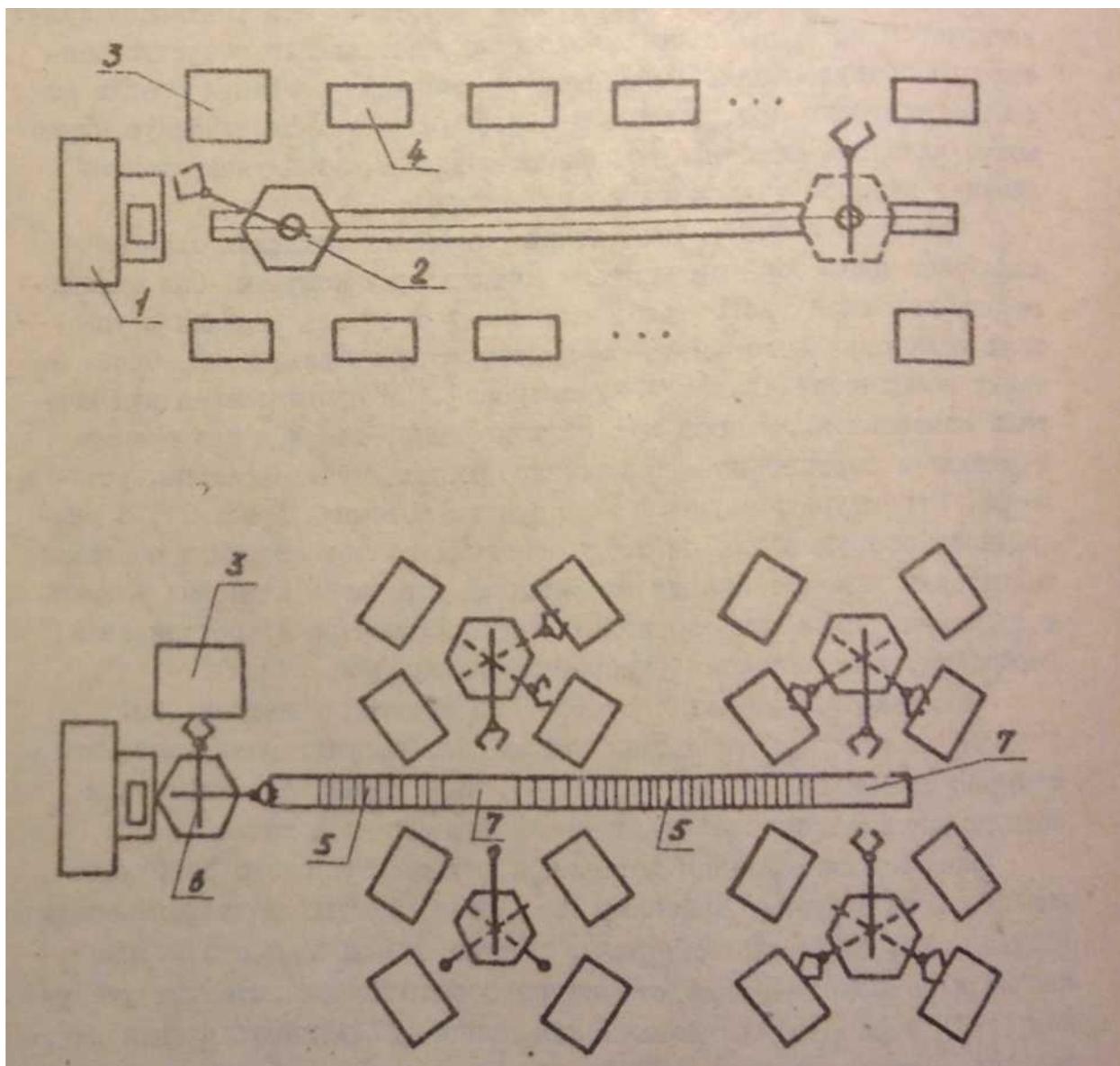


Рис. 3. Структура робототехнического участка (РТУ):

1- контейнер-накопитель; 2 - транспортно-установочный приемник; 3 - технологический модуль нанесения флюса; 4 - автомат «АРАКС-5»; 5 - реверсивный транспортер; 6 - приемник; 7 - ориентирующее устройство

Под технологическим модулем принимается 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 , но ведение 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 отражает ее способность к изменениям и определяет модели протекания процессов в система.

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.

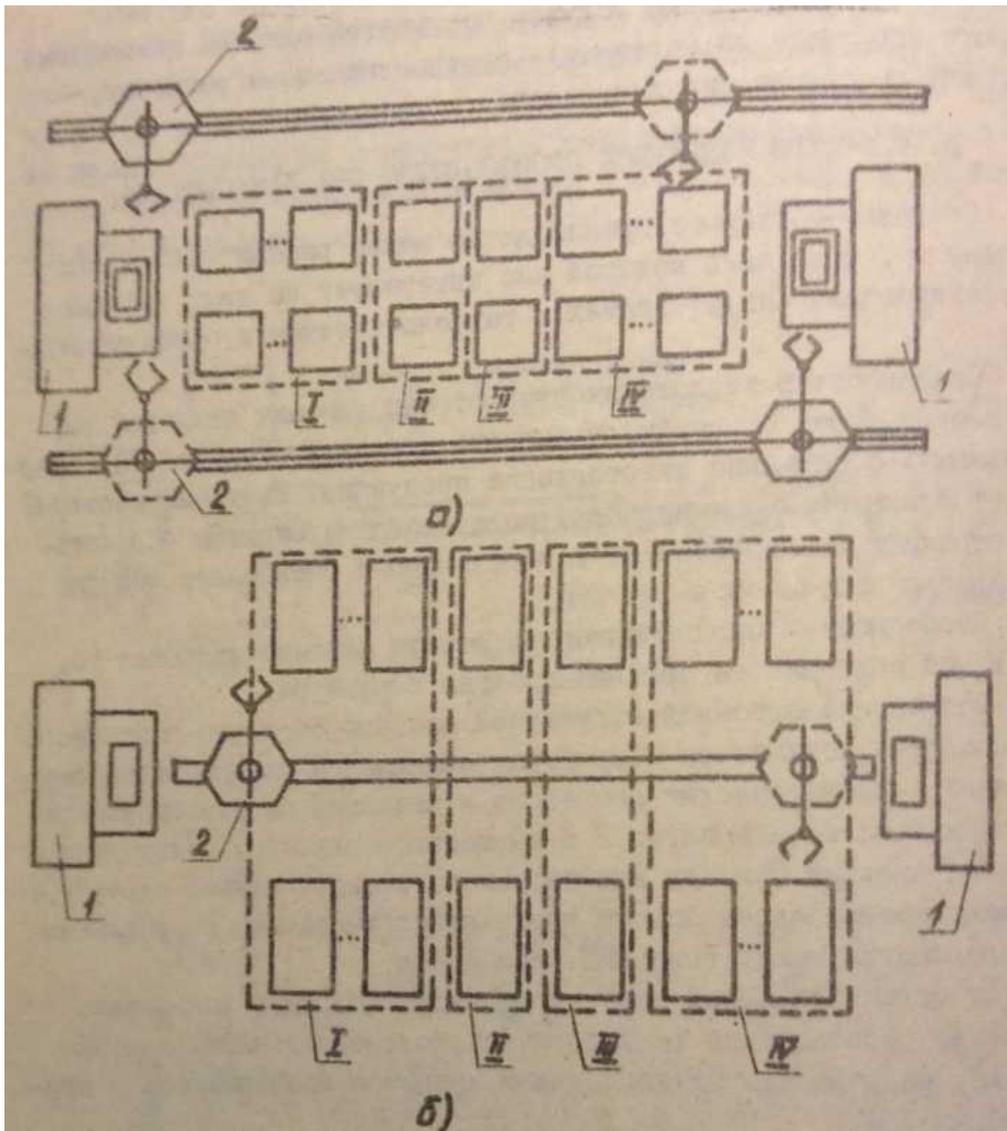
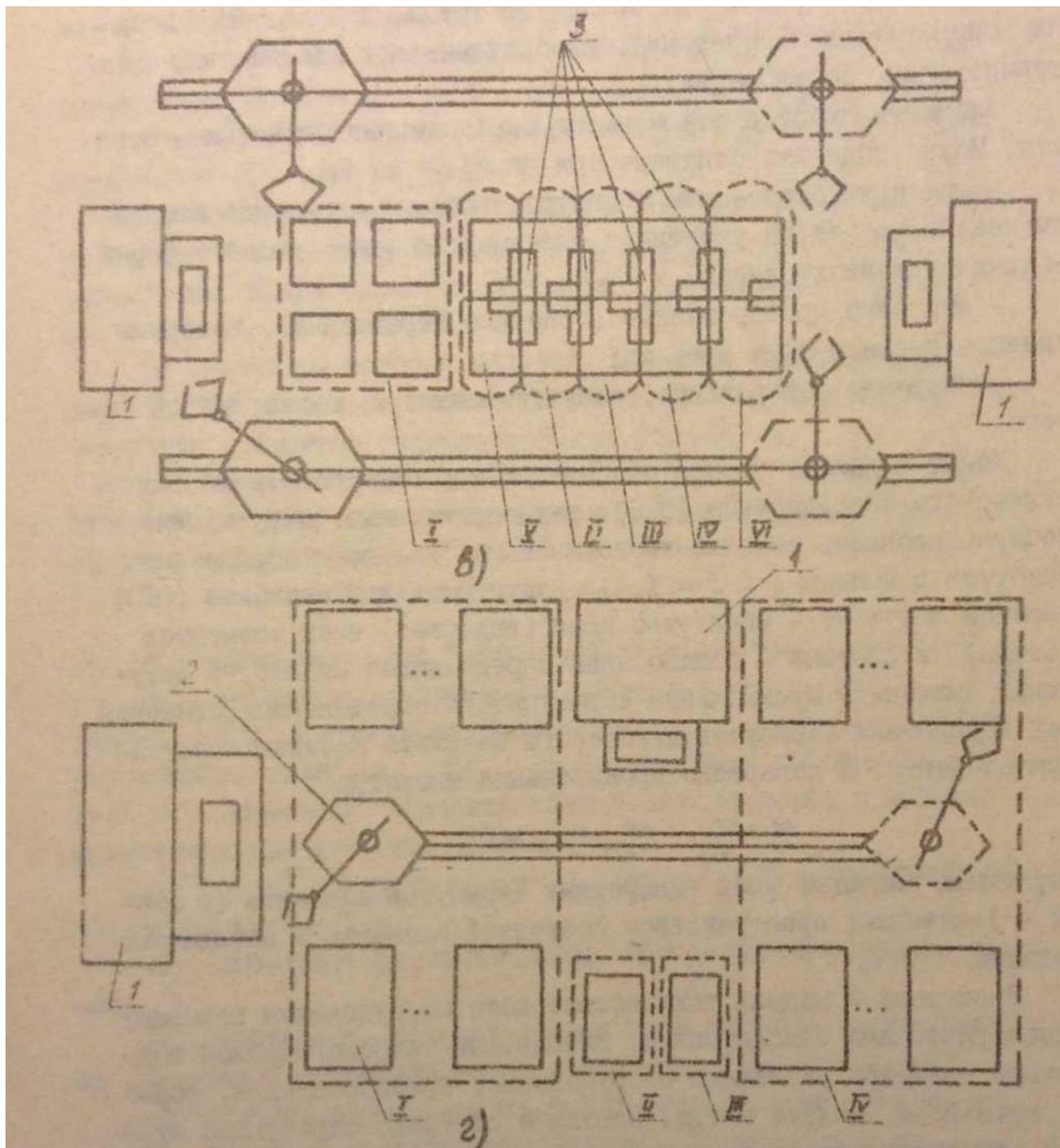


Рис. 4. Структура робототехнических линий (РТЛ): I - ооперационной комплекс (ОК) прошивки плат-заготовок; II - ОК снятия изоляции; III - ОК нанесения флюса; IV - ОК подгибки я пайки.



V - буферная межоперационная зона; VI - ОК промывки;
 1 - межоперационный контейнер-напылит ель; 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 выделять 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 o именем i ($i = 1, 4$), допустимых для элемента (ОТО) с именем n ($n \in N$ - 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 множеств

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

допустимых значений всех конкретных атрибутов элемента (о именем n) называют пространством

состояний элемента и обозначают кортежем $\langle n, i, M \rangle$.

В системе J модели технологического оборудования называют технологическими подсистемами. Элементами технологической подсистемы являются различные оборудование, приспособления, роботы, конвейеры, оклады 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

$$S = \langle N, A, T, G, P \rangle,$$

где N - множество имен (индексов) всех 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 n 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 оборудования, разработку технологических (организационных) структур участков, поточных линий, РТУ, РГЛ.

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 (СШ) предусматривает определение показателей производительности, объемов законченного, незавершенного 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 34, влияющих на критерии производительности, надежно-

оти и т.п.; определение аффективных 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:

$$N = \sum_{i=1}^m P_i N_i \left(1 + \frac{K_{34}}{100}\right),$$

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

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

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

K_{34} - 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_j - 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 изделия 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 технологических 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, учитывающим 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

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

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 переналадки технологического оборудования;

ρ - количество переналадок 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:

$$K_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{P_A} = \frac{\kappa_{в.н} F_M \sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n N_i t_{изг i}}$$

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

P_A - явочное число рабочих, выполняющих различные операции;

$\kappa_{в.н}$ - коэффициент выполнения норм;

$\sum_{i=1}^n N_i t_{изг i}$ - суммарная трудоемкость программы выпуска

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

Величина K_{30} отражает частоту смены различных операций и связанную с этим периодичность обслуживания рабочего информационными и вещественными элементами производства.

Коэффициент закрепления операции K_{30} для массового типа производства равен 1; для крупносерийного $1 < K_{30} \leq 10$; для средне серийного $10 < K_{30} \leq 20$; для мелкосерийного $20 < K_{30} \leq 40$.

Приближенно K_{30} рассчитывается так:

$$K_{30} = \frac{z_6}{t_{шт.ср}}$$

где z_6 - такт выпуска;

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

Такт выпуска изделий

$$z_6 = \frac{60 F_g}{N}$$

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:

$$t_{шт.ср} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k t_{шт. j} = \frac{t_{шт.ср}}{k},$$

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 ($\beta \leq 1$).

Расчёты (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:

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_k.$$

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 сделанных 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 $m_{пр}$ 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_{MO} - 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

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

Количество единиц оборудования на i -й операции

$$m_{op_i} = \frac{N_i}{t_{cm} \cdot Q_i \cdot K_{T_i} \cdot \beta_i}$$

Коэффициент выгода годных изделия 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 ($K_n = 0,02...0,07$).

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

Таблица 6 - Действительный годовой фонд времени

Наименование оборудования и рабочих мест	Действительный годовой фонд времени, ч	
	При односменной работе	При двухсменной 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

Станко ёмкость годового объема производства отдельной технологически однородной группы изделий

$$T_c = \frac{N_3}{Q_{ос}}$$

Трудоемкость годового объема производства отдельной технологически однородной группы изделий

$$T = \frac{N_3}{Q_{ос}} K_{зан}$$

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

Количество основных производственных рабочих

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

где $F_{\text{гр}}$ - действительный годовой фонд работы одного человека (равен 6040 ч).

4.5. Расчет удельных производственных 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

$$P_{\text{уд}} = C + E_{\text{н}} \cdot K = \frac{\Pi}{N_3}$$

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

C - технологическая себестоимость единицы продукции, руб.;

$E_{\text{н}}$ - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_{\text{н}} = 0,15$);

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

Π - 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 Π рассчитывают по формуле

$$\Pi = m_{\text{пр}} C_0 + C_0 \sum_{i=1}^n T_i C_i + C_n$$

где $m_{\text{пр}}$ - 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; z_i - 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; $t_{ох}$ - допустимое значение времени хранения полуфабрикатов в заделах; Q_i - производительность ТМ на i -й операции; N_i - запуск изделия на операцию; K_i - коэффициент готовности единицы оборудования; δ_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 агрегата (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 $z > 0$.

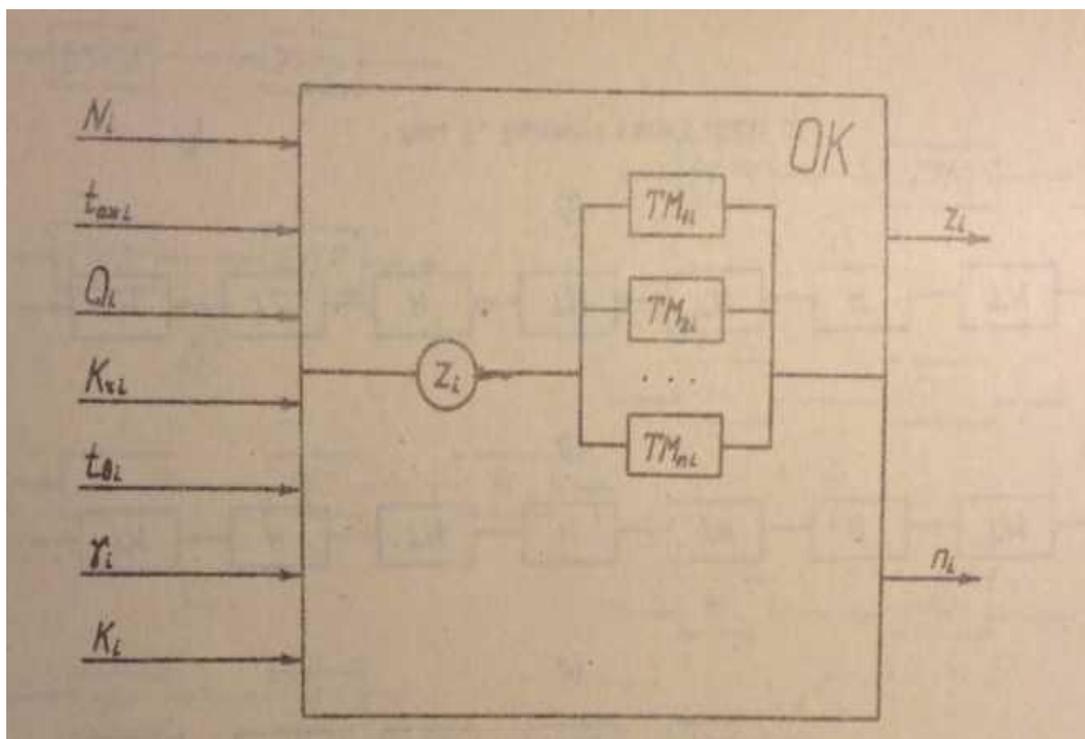


Рис. 5. Структура операционного комплекса

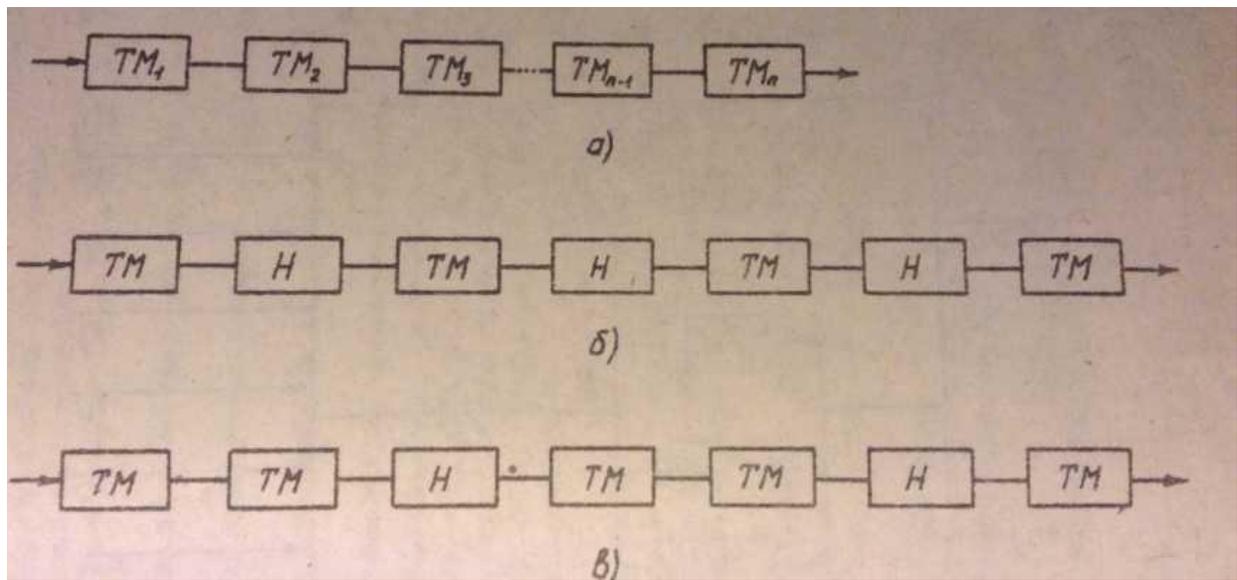


Рис. 6. Варианты связей между ОК

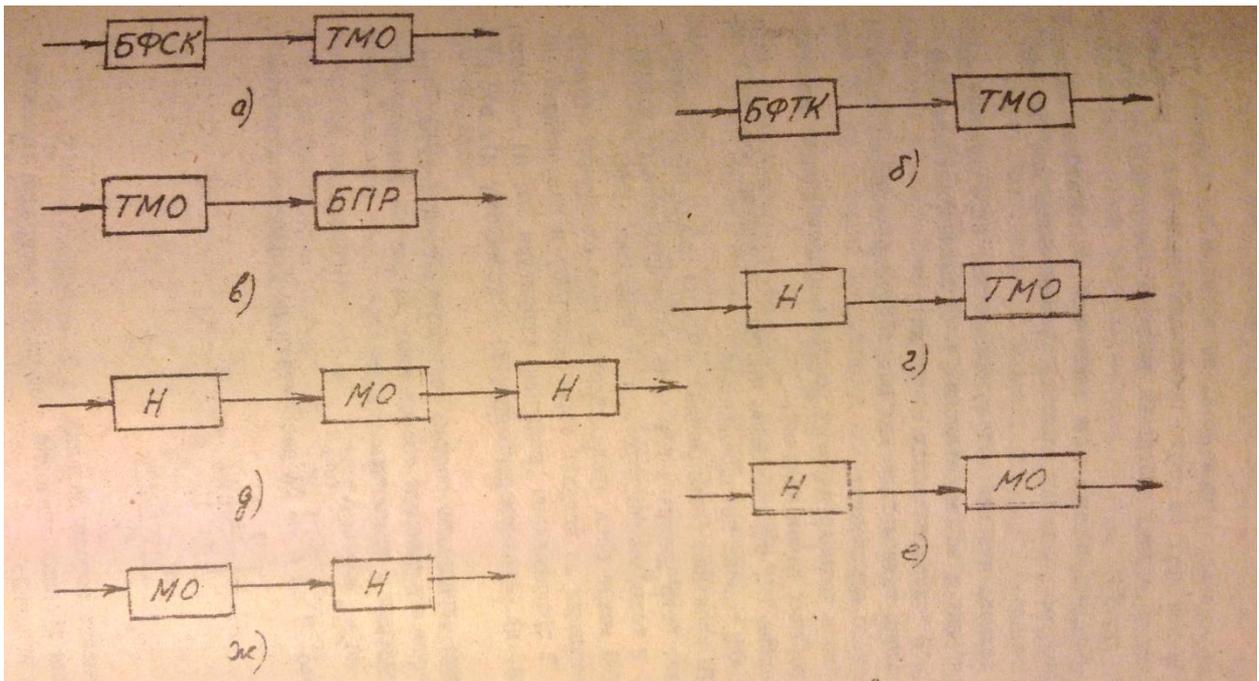


Рис 7. Структура технологических модулей.

ТМ операционных компонентов, из которых компонуются ТС 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 выполнения основных и вспомогательных технологических операций (или элементов технологических операций);

БФСК - блоки технологических модулей, определяющие формирование сборочного комплекта;

БФПТ - 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 сборки (ТМЗ) 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

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

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

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

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

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

- F_{gi} - годовой действительный фонд времени работы ТМ на i -м ОК;
- Q_i - теоретическая производительность единицу ТМ на i -м ОК,

После расчета количества ТМ на ОК вычисляется фактическая производительность технологической системы Q_{θ} с учетом простоев, которые возникают в системе в связи о 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 $\theta \in \{\theta_i\}$:

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

где $\kappa_{\text{зап.}\theta}$ - коэффициент запуска изделий на $\theta \rightarrow$ 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:

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

где

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

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

Здесь K_{θ} - коэффициент

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

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

технического использования оборудования соответствующего ОК.

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

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

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

где

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

Коэффициент δ , учитывающий многопоточность ОК,

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

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

Здесь

$$C = \begin{cases} 1 - \frac{Q_B m_B}{Q_M m_M}, & \text{если } Q_B m_B < Q_M m_M; \\ 0, & \text{если } Q_B m_B \geq Q_M m_M, \end{cases}$$

$$D^*(i_B, i_M) = \begin{cases} D^*(i_B, i_M), & \text{если } D^*(i_B, i_M) > 0, \\ 0, & \text{если } D^*(i_B, i_M) \leq 0, \end{cases}$$

42

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_B, m_B, K_{TB} .

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 ПРЯМОПОТОЧНОЙ 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 под участков, поточных линий; расчет параметров под участков и линий; распределение объектов производства по под участкам, 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 овеществленную труда с учетом социальных и экологических последствий производства;

микротехпроцесс (МТП) - последовательность подготовки и сборки элементов, описание которой дополнено характеристиками типа элемента.

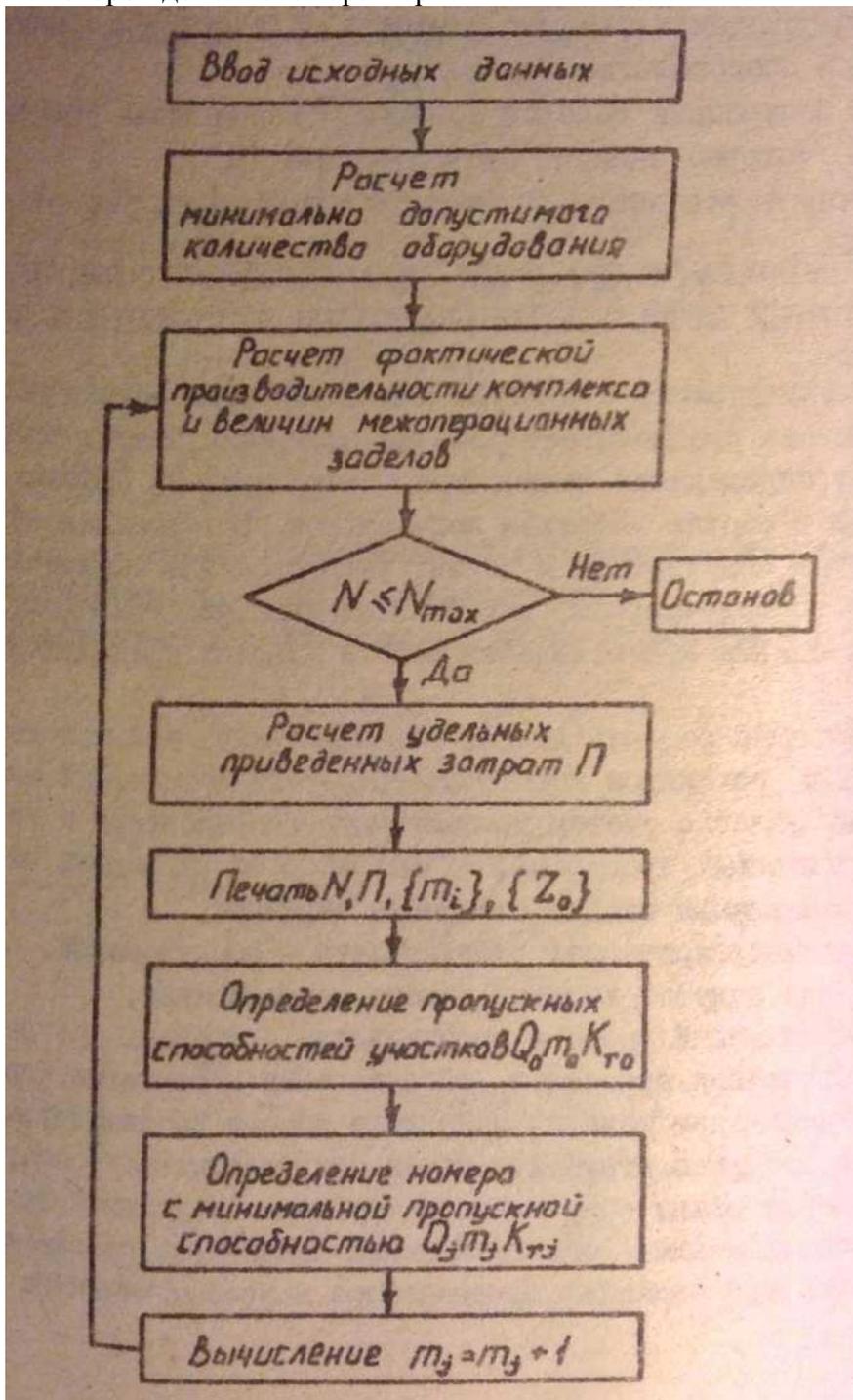
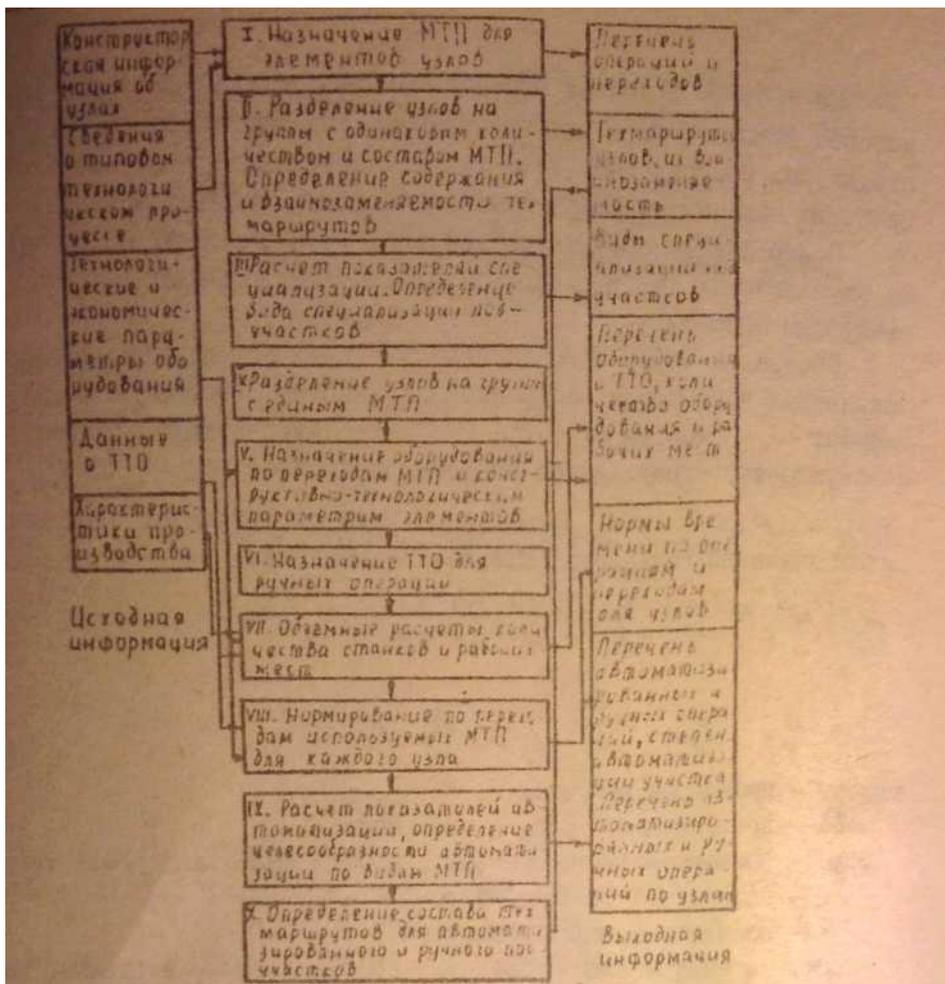


Рис. 8. Алгоритм расчета вариантов ТС



Этапы анализа

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 техпроцессом.

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 МОЛ 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 p 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} - перешитая 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 - переменная, 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 распределятся 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;

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

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

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 рядом однопараметрических задач (II)...(16) при фиксировании значений отдельных параметров. Параметрические задачи можно отнести к задачам целочисленного линейного программирования.

Решение (II)...(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.Егуннов, Б.Л.Жоржолдани, В.Г.Журавский, 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.Лукчи и др.; Под ред. Е.М.Парфенова. - М.: Высшая школа, 1982. - 255 с.
9. Соломенцев В.М., Сосенкин В.Л. Управление гибкими производственными системами. - М.: Машиностроение, 1986. - 352 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
I. Методологические аспекты формализации сборочно-монтажного производства ЭВА	4
2. Сборочно-монтажное производство ЗВА - объект формализации.....	11
2.1. Методы 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.Ковалева
Редактор Н.Н.Филимонова
Корректор Л.И.Малютина

Подписано в печать 17.11.89,
Усл.печ.л.3,25+2 вкл.
Заказ №

Формат 60x90/16.
Уч.-изд.л. 3,04.
Бесплатно.

Бумага офсетная.
Тираж 500 экз.
Изд. № 147.

Издательство МГТУ, типография МГТУ.
107006, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.