

Министерство высшего и среднего специального  
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П. Королева

И.М. Белоглазов, В.Г. Моссоулин,  
Т.А. Юркеник

А В Т О М А Т И З А Ц И Я П Р О Е К Т И Р О В А Н И Я  
Т Е Х Н О Л О Г И Ч Е С К И Х П Р О Ц Е С С О В  
С Б О Р К И К Л Е П А Н Ы Х У З Л О В  
Л Е Т А Т Е Л Ь Н Ы Х А П П А Р А Т О В

Конспект лекций

У т в е р ж д е н  
на редакционно-издательском  
совете института 16.12.77

Куйбышев 1979

В конспекте лекций рассматривается система автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР-ТП) сборки клепаных узлов типа лонжеронов, шпангоутов, нервюр и панелей. Математическое обеспечение системы основано на использовании аппарата теории множеств, математической логики и теории графов.

Темплан 1979 г. поз. № 2154.

Под редакцией Ф.И. Китаева

Рецензенты: Г.В. Иванов, Н.С. Скоробогатов

Игорь Михайлович Белоглазов,  
Виктор Григорьевич Моссоулин,  
Татьяна Алексеевна Юркиник

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ КЛЕПАНЫХ УЗЛОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Конспект лекций

Редактор И.М. Чулкова  
Техн. редактор Н.М. Каленюк  
Корректор С.С. Рубан

Подписано к печати 27.02.79 г. ЕО 00151.  
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.  
Офсетная печать. Усл.п.л. 2,09 + 2 вклейки. Уч.-изд.л. 1,83.  
Тираж 800 экз. Заказ № 1613 . Цена 6 коп.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П. Королева.  
Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография им. В.П. Мяги, г. Куйбышев,  
ул. Венцека, 60.

© Куйбышевский авиационный институт, 1979

## I. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА САПР-ТП СБОРКИ

По структуре САПР-ТП сборки состоит из четырех основных блоков /рис. I/:

- подготовки и ввода входной переменной информации;
- подготовки и ввода нормативно-справочной информации /НСИ/;
- переработки информации;
- вывода.

Блок подготовки и ввода входной переменной информации предусматривает заполнение технологом-кодировщиком карт исходной информации о сборочном узле и перенесение ее на перфоноситель с последующим вводом в ЭВМ.

Входная информация готовится для каждой сборочной единицы, на которую необходимо спроектировать технологический процесс. Информационное обеспечение системы включает в свой состав информационную базу и комплекс систем кодирования для описания объектов, с которыми система оперирует. Процесс разработки информационного обеспечения системы включает в себя несколько этапов. Первым из них является подготовка входной информации. Первичными источниками входной информации являются чертежи сборочных конструкций и их элементов, вспомогательные технические документы /производственные инструкции, РТМ, директивные технологические материалы, нормы и т.д./. Входная информация подразделяется на качественную и количественную. Количественная информация задается в цифровом виде и ввод ее в ЭВМ не вызывает затруднений. Ввод качественной информации требует ее предварительной формализации, при которой достигается однозначность понятий и устраняется избыточность информации. Процесс формализации качественной информации осуществляет-

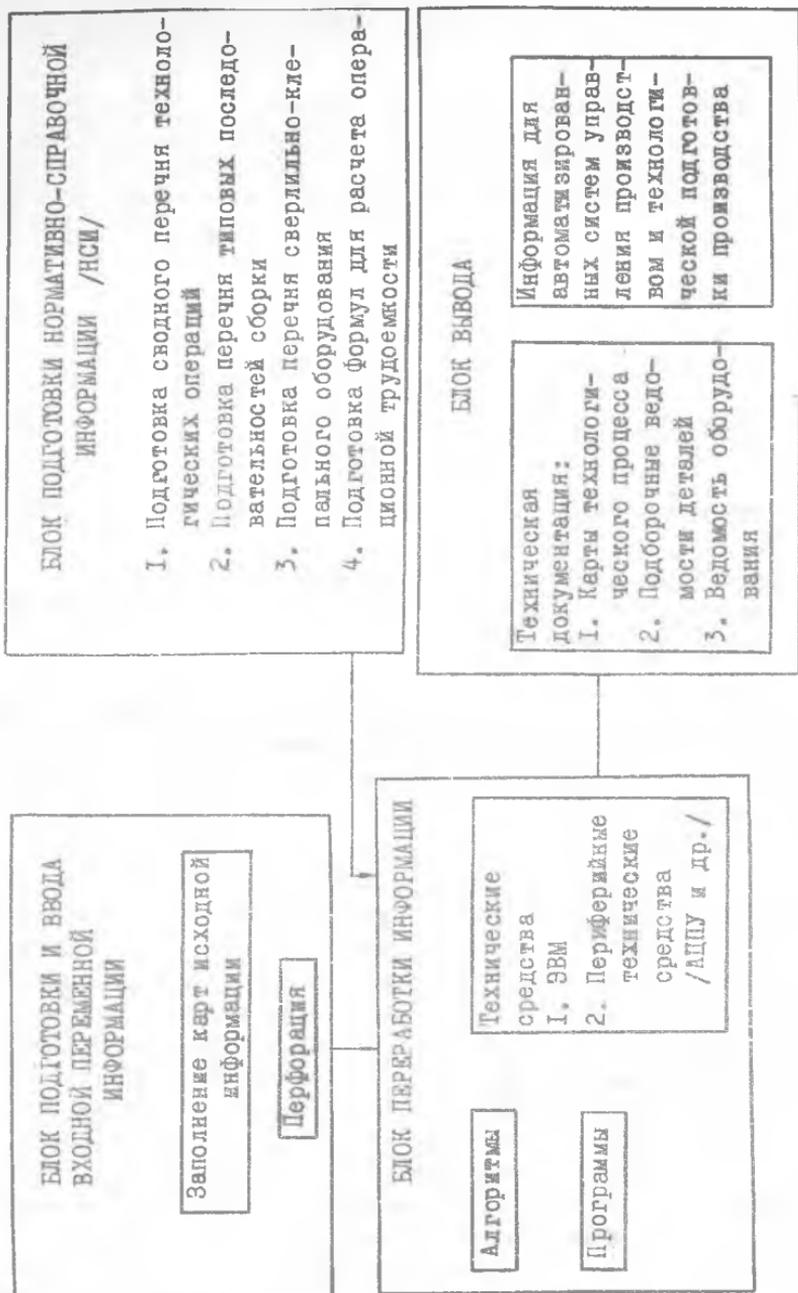
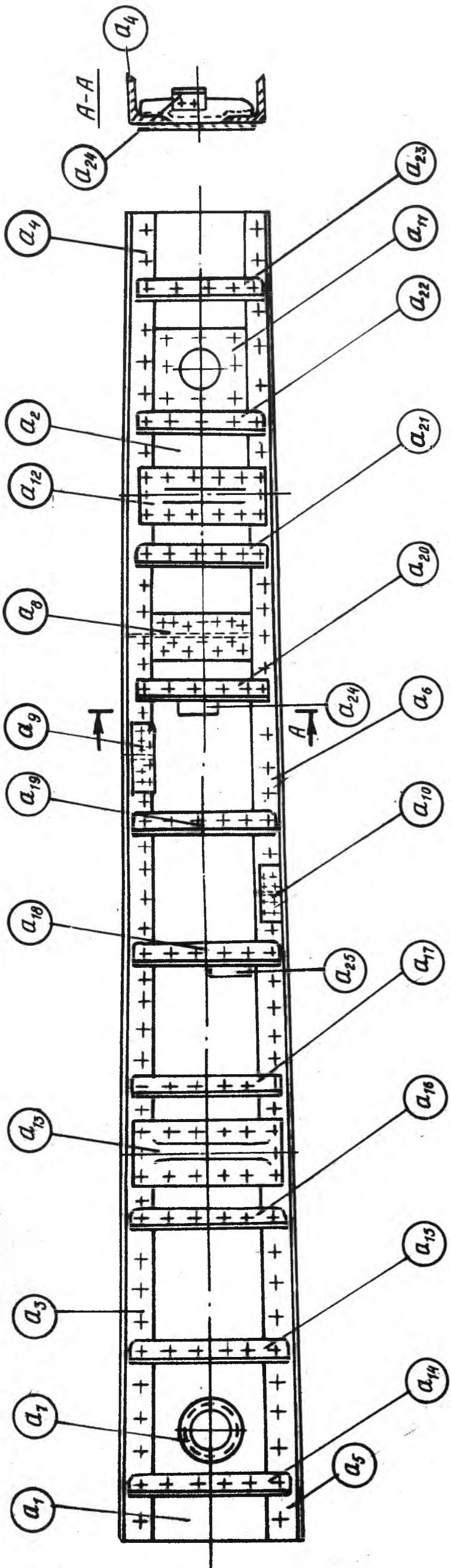
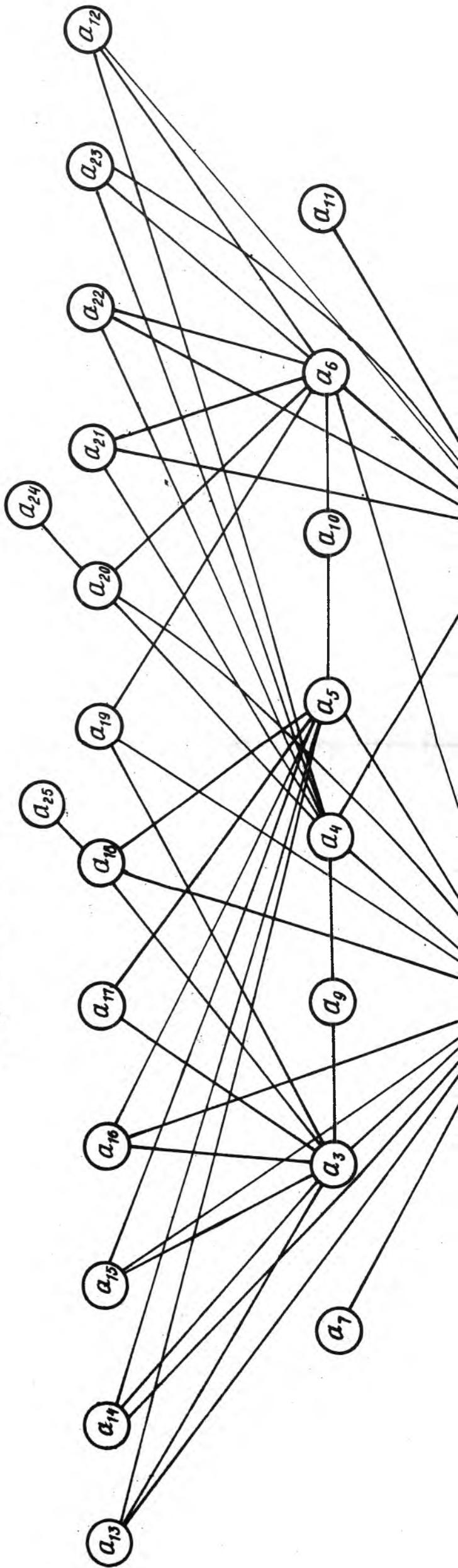
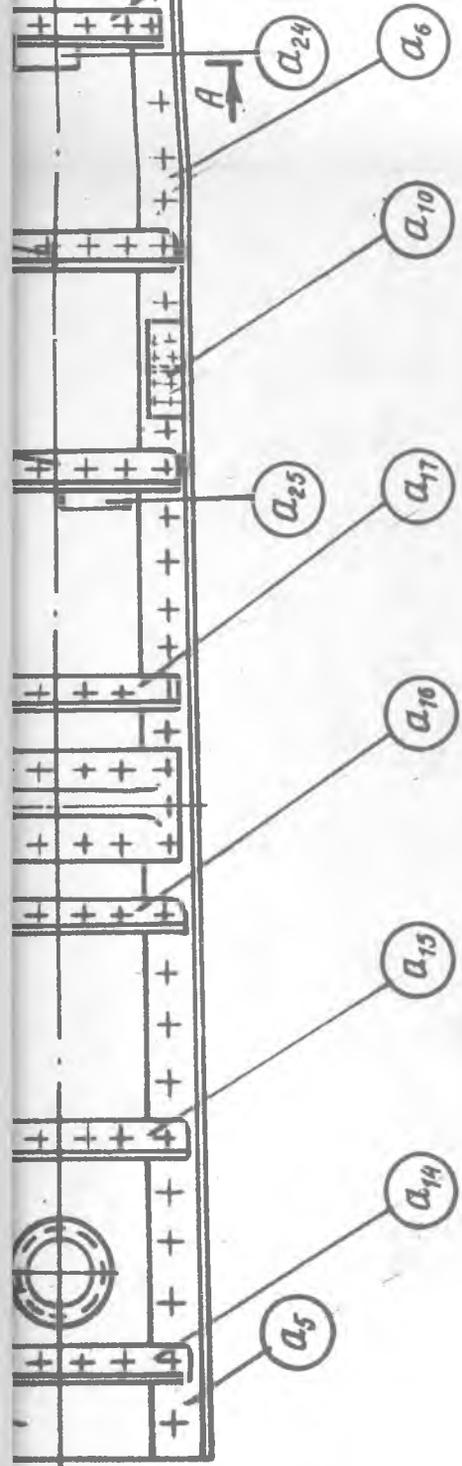


Рис. 1. Структурная схема САПР-ТП сборки

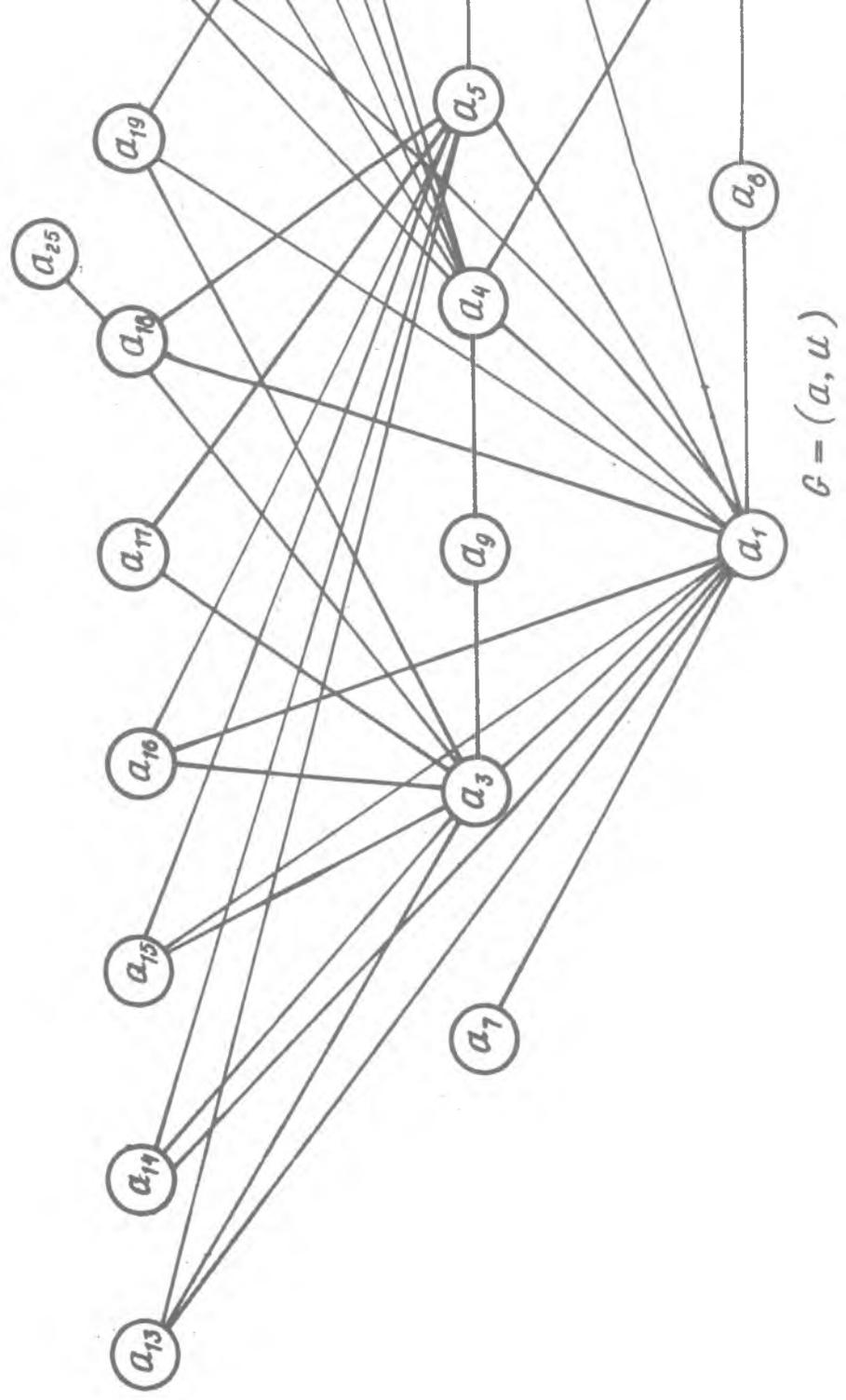


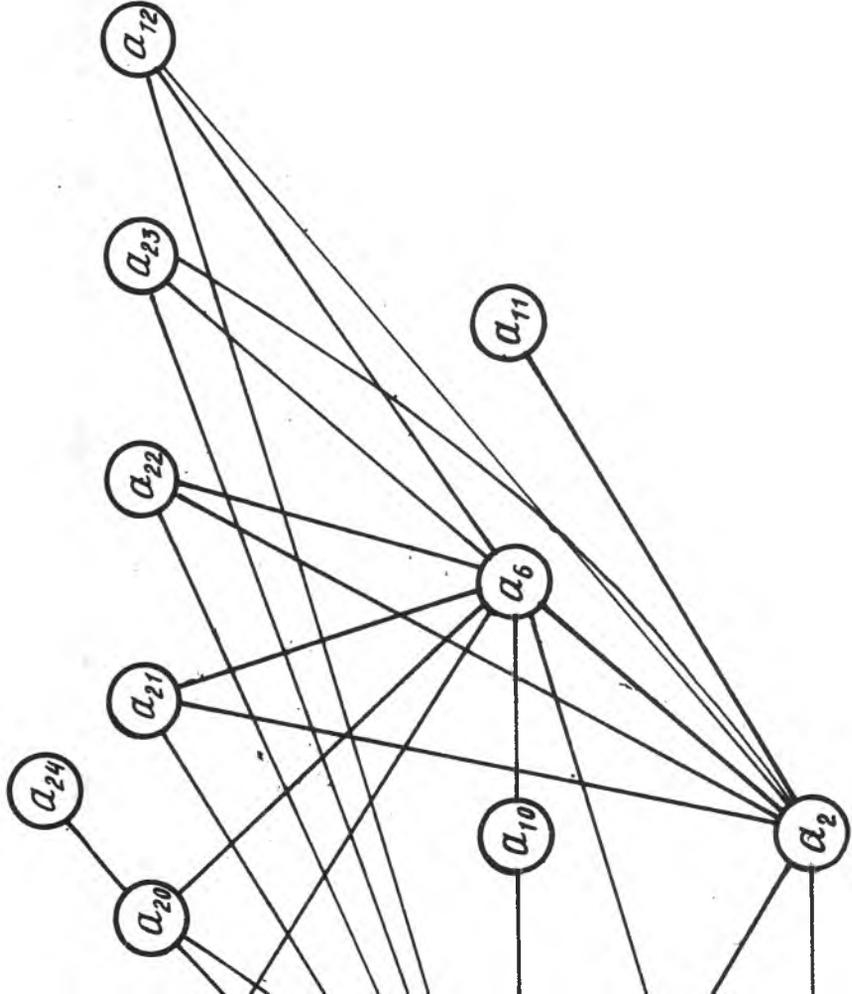
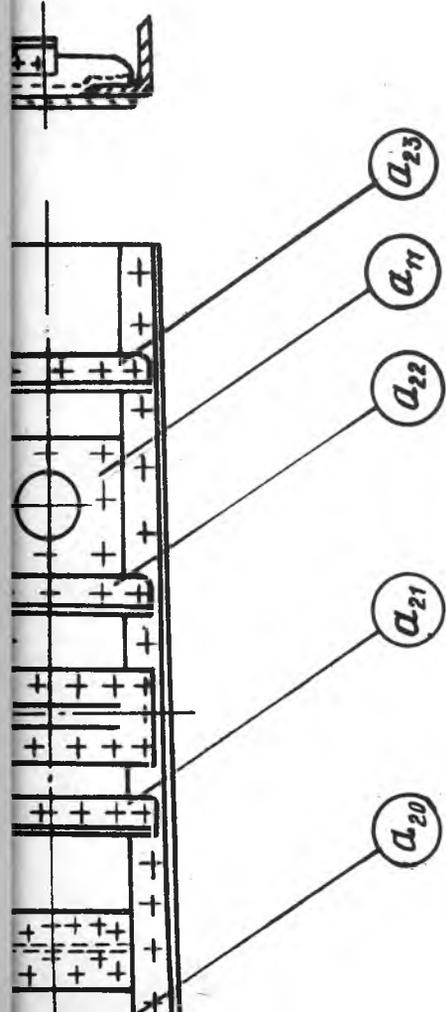
$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{25}\}$$

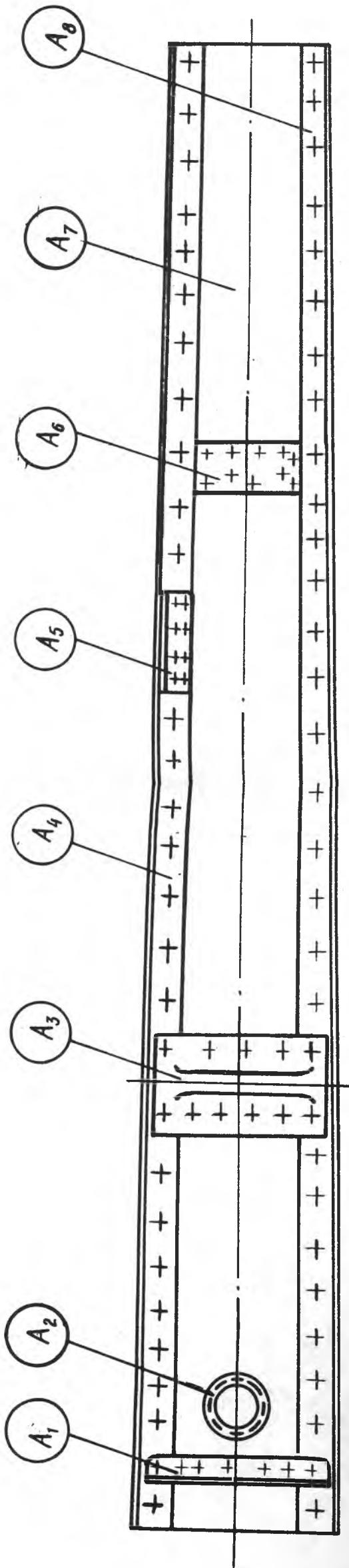




$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_{25}\}$$







$$A = A_1 U A_2 U A_3 U A_4 U A_5 U A_6 U A_7 U A_8 = \bigcup_{i=1}^8 A_i$$

$$A_1 = \{a_{14}, a_{15}, a_{16}, \dots, a_{23}\}$$

$$A_2 = \{a_7, a_{11}\}$$

$$A_3 = \{a_{12}, a_{13}\}$$

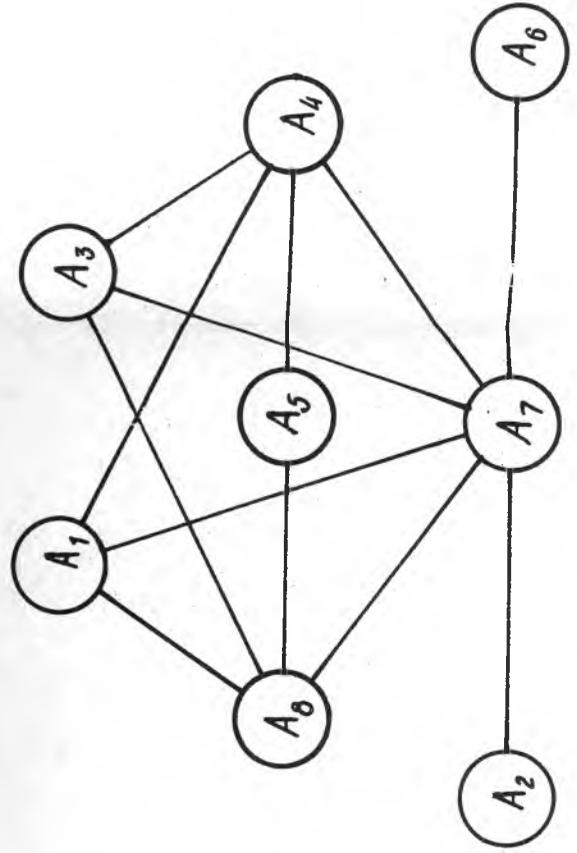
$$A_4 = \{a_3, a_4\}$$

$$A_5 = \{a_9, a_{10}\}$$

$$A_6 = \{a_8\}$$

$$A_7 = \{a_1, a_2\}$$

$$A_8 = \{a_5, a_6\}$$



$G = (A, U)$

Рис. 3

ся системой кодирования, которая определяет порядок и правила превращения словесной информации в цифровую. На практике сложились следующие системы кодирования: порядковая, серийная, разрядная или позиционная, система повторения и комбинированная.

Выбор конкретной системы кодирования определяется характером информации.

Блок подготовки и ввода НСИ предусматривает составление необходимой нормативно-справочной информации, перенесение ее на перфоносители и ввод во внешнюю память ЭВМ. Разработка НСИ осуществляется в процессе создания системы. Во время функционирования системы НСИ только дополняется или корректируется в зависимости от изменяющихся условий сборочного производства. Некоторые виды НСИ практически не изменяются в течение длительного времени, например, перечень типов оборудования, наименование операций и др. Но такой вид информации, как сводный перечень операций технологических процессов, соответствующий определенному типу изделия, изменяется по мере совершенствования методов изготовления изделия или смены объекта производства.

Блок переработки информации на базе разработанного математического и программного обеспечения осуществляет преобразование входной и нормативно-справочной информации. При этом решаются следующие функциональные задачи системы:

- выбирается вариант последовательности сборки;
- определяется состав и последовательность операций технологического процесса;
- выбирается сверлильно-крупнооборудование;
- рассчитываются нормы штучного времени по операциям.

Решение этих задач обеспечивает получение основных реквизитов технологической документации.

Блок вывода преобразует выходную информацию с машинного языка в буквенно-цифровую информацию технологических документов /технологических карт, подборочных ведомостей деталей, ведомостей оборудования/.

Кроме того, во внешней памяти ЭВМ формируется массив информации для автоматизированных систем управления производством /АСУП/ и технологической подготовкой производства /АСУТ-ПП/.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

### 2.1. Формализованное описание конструкции сборочных узлов

Сборочные узлы состоят из элементов различного функционального назначения и сложности, определенным образом сопряженных и ориентированных относительно друг друга.

В общем случае сборочную конструкцию можно представить как неупорядоченное конечное множество элементов

$$A = \{a, b, c, \dots, n\}. \quad /1/$$

Все эти элементы взаимосвязаны друг с другом, характер взаимосвязи определяется сборочным чертежом. В аналитическом виде информация о наличии сопряжений между элементами представляется в виде графа [1]

$$G = (a, u), \quad /2/$$

где  $a$  - вершина графа, в нашем случае это элементы конструкции;

$u$  - дуги графа, указывающие на наличие сопряжения между элементами;

$G$  - граф Берка, обозначает, что из одной вершины графа в другую может идти не более одной дуги.

На рис. 2 /см. вкладка/ в качестве примера показаны конструкция и граф сопряжения элементов лонжерона.

Большая многодетальность рассматриваемых сборочных конструкций обуславливает достаточно сложную структуру связей, для описания которой требуется значительный объем информации. Анализ топологии графа сопряжений позволяет выявить некоторые особенности структурных связей элементов конструкции сборочных узлов и установить принципиальную возможность объединения ряда элементов одного функционального назначения и с одинаковыми конструктивно-технологическими свойствами в отдельные группы. Например, группа деталей типа стоек  $/a_{14} - a_{23}/$  имеет структуру связей, определенную их сопряжением с поясами  $/a_3, a_4, a_5, a_6/$  и стенками  $/a_1, a_2/$  лонжерона. Отдельные группы образуют узлы навески  $/a_{12}, a_{13}/$ , стыковые накладки  $/a_9, a_{10}/$ , окантовки  $/a_7, a_{11}/$  и др.

Таким образом, исходя из принятых формальных признаков, можно

предположить, что каждый элемент группы эквивалентен любому другому элементу этой же группы.

На основании этого все множество элементов сборочной единицы /А/ можно разбить на конечное число подмножеств групп деталей

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_K\}, \quad /3/$$

где

$$A_1 = \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n_1}\}; \quad /4/$$

$$A_2 = \{a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n_2}\};$$

$$\dots$$

$$A_K = \{a_{k1}, a_{k2}, \dots, a_{kn_k}\};$$

при этом

$$A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_K = \emptyset, \quad /5/$$

$$A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_K = \bigcup_{i=1}^K A_i,$$

где  $\bigcup_{i=1}^K A_i = A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_K$  - объединение подмножеств  $A_1, A_2, \dots, A_K$ ;

$\bigcap_{i=1}^K A_i = A_1 \cap A_2 \dots \cap A_K$  - пересечение подмножеств  $A_1, A_2 \dots A_K$ ;

$\emptyset$  - пустое множество;

$a_{ji} \in A$  /  $a_{ij}$  является элементом множества /А/.

Если представить каждое выделенное подмножество /  $A_1, A_2, \dots, A_K$  / в виде одноэлементного подмножества множества А, то можно получить упрощенную модель конструкции сборочной единицы и ее упрощенный граф сопряжений  $G = (A, \alpha)$  /рис. 3, см. вкладка/. Структура связей в этом случае значительно упрощается, уменьшается и количество связей, поскольку подмножеств групп элементов значительно меньше, чем количество образующих их элементов. Это позволяет в значительной мере сократить объем перерабатываемой информации при решении функциональных задач САПР-ТП и более объективно осуществить классификацию деталей.

## 2.2. Использование теории множеств для решения задач САПР-ТП

Решение основных задач САПР-ТП базируется на выборе зависимости, при которой каждому решению соответствует набор определенных условий. Это описывается в теории множеств [2] с помощью следующего соответствия:

$$\Gamma_{DY} = (G, X, Y), \quad /6/$$

где  $G, X, Y$  - компоненты соответствия;

$X$  - область отправления соответствия;

- $Y$  - область прибытия соответствия;  
 $\sigma$  - график соответствия, который является подмножеством прямого произведения второй и третьей компоненты, т.е.  $\sigma \subseteq X_3 Y$ .

Графическое соответствие  $\Gamma$  изображается в виде таблицы соответствия /рис. 4/.

| ОБЛАСТЬ<br>ПРИБЫТИЯ<br>$Y$ | ОБЛАСТЬ ОТПРАВЛЕНИЯ $X$ |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                            | $X_1$                   |          |          | $X_2$    |          | $X_3$    |          |          |          |
|                            | $x_{11}$                | $x_{12}$ | $x_{13}$ | $x_{21}$ | $x_{22}$ | $x_{31}$ | $x_{32}$ | $x_{33}$ | $x_{34}$ |
| $y_1$                      | X                       |          |          | X        |          | X        |          |          |          |
| $y_2$                      | X                       |          |          |          | X        |          | X        |          |          |
| $y_3$                      |                         | X        |          | X        |          |          |          | X        |          |
| $y_4$                      |                         |          | X        |          | X        | X        |          |          |          |
| $y_5$                      | X                       |          |          | X        |          |          |          |          | X        |

Рис. 4. Таблица соответствия

Область определения  $X$  представляет собой прямое произведение непересекающихся и не связанных между собой каким-либо соотношением множеств  $X_1, X_2, \dots, X_m$ ; т.е.

$$X_{D\varphi} = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m,$$

/7/

где

$$X_1 = \{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n_1}\};$$

$$X_2 = \{x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n_2}\};$$

.....

$$X_m = \{x_{m_1}, x_{m_2}, \dots, x_{m_{n_m}}\}.$$

/8/

Условие непересечения множеств области отправления записывается следующим логическим выражением:

$$(\forall X, \in X)(\forall X_{j \pm \epsilon} \in X)[X_j \cap X_{j \pm \epsilon} = \emptyset], \quad /9/$$

которое определяет, что пересечение двух любых множеств  $X_j$  и  $X_{j \pm \epsilon}$  /области отправления  $X$  / равно пустому множеству.

Второе условие записывается выражением

$$\neg(\exists X_j \in X) \neg(\exists X_{j \pm \epsilon} \in X)[\Delta_{Dy} = \langle \emptyset, X_j, X_{j \pm \epsilon} \rangle], \quad /10/$$

которое определяет, что в области отправления  $X$  для любых двух множеств  $|X_j, X_{j \pm \epsilon}|$  не существует какое-либо соответствие  $|\Delta_{Dy}|$ .

В этих формулах приняты следующие обозначения понятий:

$\neg$  - отрицание высказывания;

$\forall$  - квантор общности,  $\forall x | U | x |$  - означает, что для любого значения переменной  $x$  высказывание, полученное подстановкой этого значения вместо  $x$  в формулу  $U$ , истинно;

$\exists$  - квантор существования,  $\exists | x | U | x |$  - означает, что существует такое  $x \in N$ , при котором  $U | x |$  истинно.

Область прибытия соответствия  $\Gamma$  представляет собой множество

$$y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}. \quad /11/$$

Учитывая вышесказанное, соответствие  $\Gamma$  можно представить в виде  $m$  независимых соотношений с общей областью прибытия  $y$ .

$|m$  - количество множеств области отправления/:

$$\Gamma_{1Dy} = (G_1, X_1, Y);$$

$$\Gamma_{2Dy} = (G_2, X_2, Y);$$

.....

$$\Gamma_{mDy} = (G_m, X_m, Y),$$

при этом  $\Gamma_1 \neq \Gamma_2 \neq \dots \neq \Gamma_m$ .

Для решения задач САПР-ТП эти соответствия должны удовлетворять следующим условиям:

функциональности, т.е. для них является истинным высказывание

$$(\forall x_1)(\forall x_2)(\forall y_1)(\forall y_2)[\langle x_1, y_1 \rangle \in \Gamma \cap x_1 = x_2 \rightarrow y_1 = y_2]; \quad /13/$$

всду определенности, т.е.

$$\begin{aligned} \Pi_{p_1} G_1 &= X_1; \\ \Pi_{p_1} G_2 &= X_2; \\ \Pi_{p_1} G_m &= X_m, \\ &\text{а так же} \\ \Pi_{p_2} G_1 &= Y; \\ \Pi_{p_2} G_2 &= Y; \\ \dots &\dots \\ \Pi_{p_2} G_m &= Y, \end{aligned} \quad \begin{array}{l} /14/ \\ \\ \\ /15/ \end{array}$$

где  $\Pi_{p_1} G$  и  $\Pi_{p_2} G$  - проекция графика соответствия на область отправления и область прибытия соответственно.

Решением рассматриваемого соответствия является подмножество  $\gamma^*$  области прибытия  $Y$ , определение которого сводится к определению образа множества  $\Gamma/x/$ , при данном соответствии по заданному кортежу:

$$x = (x_{1i_1}, x_{2i_2}, \dots, x_{mi_m}),$$

компоненты которого являются элементами области отправления  $X$ .  
Решение кортежа определяется с учетом следующего выражения:

$$\Gamma(x) = \Pi_{p_2} [(x \times \gamma) \cap G]. \quad /16/$$

В этом случае решением является

$$Y^* = Y_{1i_1} \cap Y_{2i_2} \cap \dots \cap Y_{mi_m}, \quad /17/$$

где  $Y_{1i_1}, Y_{2i_2}, \dots, Y_{mi_m}$  - образы компонент кортежа  $X$ .

### 2.3. Классификация сборочных единиц и входящих в них деталей

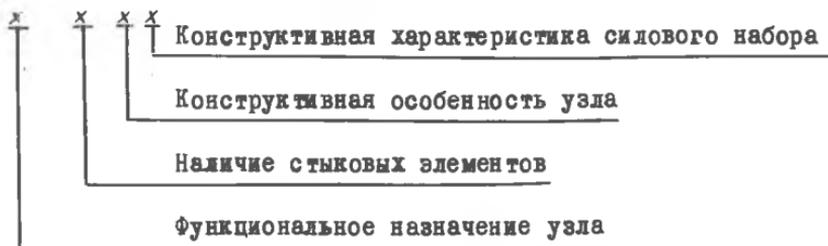
Конструктивно-технологические свойства сборочных единиц и входящих в них элементов обычно носят описательный характер. Для решения функциональных задач САПР-ТП сборки возникает необходимость их формального описания. Возникает необходимость так же в выборе системы кодирования и создания кодировочных таблиц, с помощью которых можно было бы отдельные свойства выражать в цифровом виде. Такими своеобразными кодировочными таблицами являются классификаторы, поскольку система классификации неразрывно связа-

на с системой кодирования.

Сборочные узлы классифицируются по следующим четырем признакам /табл. I/ в наибольшей мере влияющим на структуру и содержание технологического процесса сборки:

- а/ функциональное назначение сборки;
- б/ наличие в конструкции стыковых элементов;
- в/ конструктивные особенности сборочной единицы /для шпангоутов, лонжеронов и нервюр это наличие силовых элементов, для панелей - их кривизна/;
- г/ конструктивная характеристика силового набора.

На основании этого классификатора формируется цифровой код следующей структуры:



Например, для шпангоута со стыковыми элементами, без силовых элементов, с глухой стенкой образуется следующий цифровой код - 1121 /см. табл. I/. Аналогично описываются и другие разновидности конструкций рассматриваемых сборочных единиц.

В целях сокращения объема перерабатываемой информации при решении функциональных задач САПР-ТП существенное значение имеет и правильная классификация деталей, входящих в конструкции сборочных единиц. Классификация деталей осуществляется по их функциональному назначению.

На базе анализа топологии связей деталей в конструкции /см. рис. 2 и 3/ и выявления групп деталей с однородными связями составляется их классификатор /табл. 2/. При этом все множество деталей  $A$  разбивается на конечное число подмножеств  $A_i$ , которые удовлетворяют условиям /3/, /4/, /5/. Кроме того, любое подмножество деталей  $A_i$  должно состоять хотя бы из одного элемента, т.е.  $\forall A_i [A_i \neq \emptyset]$ .

Для рассматриваемых сборочных единиц все множество деталей разбито на 27 подмножеств групп деталей, каждой из которых присвоен цифровой код. Цифровое описание сборочных единиц и групп деталей используется для решения таких функциональных задач

| Функциональное назначение |     | Наличие стыковых элементов |     |
|---------------------------|-----|----------------------------|-----|
| Название                  | Код | Название                   | Код |
| ШПАНГОУТЫ                 | 1   | Со стыковыми элементами    | 1   |
|                           |     | Без стыковых — " —         | 2   |
| НЕРВИОРЫ                  | 2   | Со стыковыми — " —         | 1   |
|                           |     | Без стыковых — " —         | 2   |
| ЛОНЖЕРОНЫ                 | 3   | Со стыковыми — " —         | 1   |
|                           |     | Без стыковых — " —         | 2   |
| ПАНЕЛИ                    | 4   | Со стыковыми элементами    | 1   |
|                           |     | Без стыковых элементов     | 2   |

| Конструктивная особенность |     | Конструктивная характеристика силового набора |     |
|----------------------------|-----|---|-----|
| Название                   | Код | Название                                      | Код |
| С силовыми элементами      | I   | С глухой стенкой                              | I   |
| Без силовых — " —          | 2   | Без глухой стенки                             | 2   |
| С силовыми — " —           | I   | С компенсаторами                              | I   |
| Без силовых — " —          | 2   | Без компенсаторов                             | 2   |
| С силовыми — " —           | I   |   |     |
| Без силовых — " —          | 2   |   |     |
| ПЛОСКИЕ                    | I   | С поперечным набором                          | 2   |
|                            |     | С продольным — " —                            | I   |
|                            |     | С продольно-поперечным — " —                  | 3   |
|                            |     | С поперечным — " —                            | 2   |
| ОДИНАРНОЙ КРИВИЗНЫ         |     | С продольным — " —                            | I   |
| ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ             | 2   | С продольно-поперечным — " —                  | 3   |
|                            |     | С поперечным — " —                            | 2   |
| ОДИНАРНОЙ КРИВИЗНЫ         |     | С продольным — " —                            | I   |
| КОНИЧЕСКИЕ                 | 3   | С продольно-поперечным — " —                  | 3   |
|                            |     | С поперечным — " —                            | 2   |
| ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ           | 4   | С продольным — " —                            | I   |
|                            |     | С продольно-поперечным — " —                  | 3   |
| ПЛОСКИЕ                    | I   | С поперечным — " —                            | 2   |
|                            |     | С продольным — " —                            | I   |
|                            |     | С продольно-поперечным — " —                  | 3   |
|                            |     | С поперечным — " —                            | 2   |
| ОДИНАРНОЙ КРИВИЗНЫ         |     | С продольным — " —                            | I   |
| ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ             | 2   | С продольно-поперечным                        | 3   |
|                            |     | С поперечным — " —                            | I   |
| ОДИНАРНОЙ КРИВИЗНЫ         |     | С продольным — " —                            | 2   |
| КОНИЧЕСКИЕ                 | 3   | С продольно-поперечным — " —                  | 3   |
|                            |     | С поперечным — " —                            | 2   |
| ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ           | 4   | С продольным — " —                            | I   |
|                            |     | С продольно-поперечным — " —                  | 3   |

## КЛАССИФИКАТОР ГРУПП ДЕТАЛЕЙ

| № групп | Наименование групп деталей                      | № групп | Наименование групп деталей        |
|---------|---|---------|-----------------------------------|
| 1       | Словные узлы                                    | 16      | Крупные литые и штампованные узлы |
| 2       | Узлы, фитинги и профили разъема                 | 17      | Прокладки местные, ленты          |
| 3       | Верхний пояс № 1                                | 18      | Компенсаторы                      |
| 4       | Нижний пояс № 1                                 | 19      | Обшивки                           |
| 5       | Верхний пояс № 2                                | 20      | Стрингер                          |
| 6       | Нижний пояс № 2                                 | 21      | Сектор шпангоута, пояс нервюры    |
| 7       | С т е н к а                                     | 22      | Книпы                             |
| 8       | Стыковые и усиленные накладки                   | 23      | Стыковочные ленты                 |
| 9       | Уголки, профили жесткости                       | 24      | Литые коробки, корпуса датчиков   |
| 10      | Словная или глухая стенка                       | 25      | В т у л к и                       |
| 11      | Уголки, профили, стойки на глухой стенке        | 26      | Штупера, фланцы                   |
| 12      | Балки, силовые профили шпангоута                |         |                                   |
| 13      | Кронштейны и мелкие литые и штампованные детали |         |                                   |
| 14      | Окантовки лючков, пагрубки                      |         |                                   |
| 15      | Крышки люков, съёмные стенки                    |         |                                   |

САПР-ТП, как выбор варианта последовательности сборки, выбор состава и последовательности выполнения операций технологического процесса, выбор оптимальной номенклатуры сверильно-клепального оборудования и др. ЭВМ сопоставляет закодированные сведения о деталях и узлах с закодированными данными о технологическом процессе.

### 3. НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ САПР-ТП СБОРКИ

#### 3.1. Варианты последовательности сборки

Последовательность сборки рассматриваемых сборочных единиц зависит в основном от конструктивной взаимосвязи деталей и принятого метода сборки. Большая многодетальность и достаточно сложная структура связей обуславливает большое количество различных вариантов последовательностей. Для анализа всех возможных вариантов требуется подготовка большого объема входной переменной информации и разработка достаточно сложных алгоритмов. Задача во многом упрощается, если воспользоваться типовыми вариантами последовательностей сборки. С этой целью для каждого типа рассматриваемых сборочных единиц и каждого метода сборки составляется несколько типовых последовательностей, которые представляются в виде перечня условных операторов  $\{A_i\}$ . В общем виде они записываются следующим образом  $PC_j = A_{i_i}$ , /18/

где  $A_i$  - конъюнкция номеров групп деталей,  $i_i = 1 - n$ ;  
 $n$  - целое число.

Перечень типовых последовательностей составляет массив вариантов последовательностей сборки. В табл. 3 представлен фрагмент полного перечня вариантов сборки для рассматриваемых сборочных единиц. Цифра при каждом операторе определяет цифровой код группы деталей согласно классификатора, приведенного в табл. 2. В состав последовательностей дополнительно введена нулевая группа, образующая начальную стадию сборки некоторых узлов - подготовку сборочного приспособления. Кроме того, для ряда узлов вводятся дополнительные операторы, устанавливающие порядок повторной установки деталей некоторых групп.

Количество вариантов определяется классом сборочной единицы, тщательностью проработки ее конструкции и может быть равно 30-45.

## ПЕРЕЧЕНЬ ВАРИАНТОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СБОРКИ

| Шифр вариантов | В а р и а н т    п о с л е д о в а т е л ь н о с т и |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------|--|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 1              | A0   | A2 | A3 | A4 | A7 | A5 | A6 | A27 | A12 | A10 | A11 | A22 | A23 | A24 | A5  | A13 | A4  | A16 | A18 | A14 | A15 |  |
| 2              | A0   | A2 | A3 | A4 | A7 | A5 | A6 | A27 | A12 | A22 | A23 | A24 | A9  | A13 | A25 | A16 | A18 | A14 | A15 |     |     |  |
| 3              | A0   | A1 | A3 | A4 | A7 | A5 | A6 | A12 | A10 | A11 | A22 | A23 | A24 | A9  | A13 | A25 | A16 | A18 | A18 | A14 | A15 |  |

## Т а б л и ц а 4

## СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ / СПТО /

| Шифр операции | Н а и м е н о в а н и е    о п е р а ц и и  | И н с т р у м е н т  | Шифр профессии | Р а з р я д    р а б о т |
|---------------|---|----------------------|----------------|--------------------------|
| 3001          | Подготовить приспособление к сборке   | инструмент набор № 1 | I415           | 4; I                     |
| 3002          | Промзвести наладку группового приспособления  | — " —                | I415           | 4; I                     |
| 3003          | Установить на ложементы, фиксировать рубильниками   | — " —                | I415           | 4; I                     |
| 3004          | Установить на ложементы, подогнать по контуру, фиксировать рубильниками                             | — " —                | I415           | 4; I                     |
| 3005          | Установить на сборочный верстак   | — " —                | I415           | 3                        |
| 3006          | Установить на каркас, подогнать по контуру, фиксировать рубильниками и крепить контрольными болтами | — " —                | I415           | 4; I                     |
| 3007          | Установить на каркас, фиксировать рубильниками и крепить контрольными болтами                       | — " —                | I415           | 4; I                     |

### 3.2. Сводный перечень технологических операций

Технологические процессы сборки определенного класса сборочных единиц можно описать конечным числом операций, количество и содержание которых зависит от степени детализации технологического процесса, объема и метода производства, а также этапа его освоения.

Перечень операций, с помощью которого можно описать технологический процесс сборки любой сборочной единицы рассматриваемого класса, при заданных производственных условиях, называется "Сводный перечень технологических операций" /СПТО/. Детализация СПТО для сборочных работ обычно ограничивается только операциями, текст которых составлен в краткой и лаконичной форме в повелительном наклонении. Содержание операции определяет лишь комплекс действий, который необходимо выполнить исполнителю при их реализации. Сведения об объектах, над которыми производятся эти действия /чертежный номер детали, ее название/ формируются в процессе машинного проектирования. Каждой операции СПТО однозначно соответствует определенный набор ручного инструмента, а также разряд работы и шифр исполнителей.

Перечень текстов операции СПТО составляет массив НСИ системы. Адресом каждой операции в массиве является цифровой код, который присваивается каждой операции при разработке массива. Кроме того, шифруется профессия и набор инструмента. В процессе функционирования системы состав операций СПТО может изменяться в зависимости от изменяющихся условий производства.

В табл. 4 приведен фрагмент массива СПТО на рассматриваемые сборочные единицы. Общий перечень состоит из 214 операций.

### 3.3. Перечень сверлильно-клепального оборудования

При сборке сборочных единиц типа шпангоутов, лонжеронов, нервюр и панелей для выполнения сверлильных и клепальных работ применяется гамма сверлильно-клепального оборудования.

Для решения задачи выбора оптимальной номенклатуры оборудования необходима определенная технико-экономическая информация, в состав которой для каждой модели входят стоимость оборудования, группа его ремонтной сложности, занимаемая производственная площадь, расход сжатого воздуха, электроэнергии и т.д. Все эти сведения образуют массив НСИ об оборудовании. В состав массива могут

входить модели оборудования, имеющегося в цехе или на участке для которого и определяется его оптимальная номенклатура или перечень оборудования согласно действующего отраслевого каталога. В табл.5 приведены характеристики моделей сверлильно-клепального оборудования, которое применяется при сборке рассматриваемых сборочных единиц.

### 3.4. Перечень формул для расчета норм штучного времени

Основным источником получения нормативных данных технологических процессов сборки являются отраслевые нормативы времени, которые задаются в табличной форме. Каждая такая таблица достаточно сложна по своей структуре и обладает большой информативной емкостью. Если учесть, что для нормирования технологических процессов сборки используется большое количество таких таблиц, целесообразно использовать их как первичные документы для формирования нормативно-справочной информации при решении задач нормирования.

В целях сокращения объема рассматриваемой нормативно-справочной информации в системе САПР-ТП использован метод представления табличных значений в виде аппроксимирующих степенных функций типа:

$$T = K \varphi_1^{K_1} \varphi_2^{K_2} \varphi_3^{K_3} \dots \varphi_i^{K_i}, \quad /19/$$

где  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i$  - факторы, от которых зависит трудоемкость;  
 $K_1, K_2, K_3, \dots, K_i$  - показатели степени;  
 $K$  - аппроксимирующий коэффициент.

Степенные зависимости разрабатываются для каждой операции СПТО по соответствующим таблицам вручную, либо с помощью ЭВМ по специально разработанной программе.

В табл. 6 приведен фрагмент массива перечня формул для определения нормы штучного времени. Технологическим операциям присвоен цифровой код согласно классификатора табл. 4. Шифр операций служит адресом соответствующей формулы в массиве.

## ВЕДОМОСТЬ СВЕРЛИЛЬНО-КЛЕПАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

| Модель оборудования | Стоимость<br>т. руб | Группа<br>ремонтной<br>сложности | Производст-<br>венная<br>площадь,<br>м <sup>2</sup> | Расход<br>сжатого<br>воздуха,<br>м <sup>3</sup> | Расход<br>электро-<br>энергии,<br>квт. ч | Формула для расчета<br>Т, шт./дня работ на<br>заданном оборудова-<br>нии/ |
|---------------------|---------------------|----------------------------------|---|---|--|---|
| КП-204М             | 1,08                | 4                                | 1,35  | 0,012   | -  | 0,43 П кп   |
| КПК-406             | 8,0                 | 8                                | 1,8   | 0,5   | -  | 0,47 П кп   |
| КП-43М              | 5,0                 | 6                                | 1,0   | 0,2   | -  | 0,68 П кп   |
| КП-405М             | 5,0                 | 8                                | 0,85  | 0,17  | -  | 0,61 П кп   |
| КП-503М             | 5,8                 | 7                                | 2,0   | 0,25  | -  | 0,65 П кп   |
| КП-504 П1-8,5       | 40,0                | 12                               | 84  | 0,25  | -  | 0,57 П кп   |
| КП-504 П1-13,5      | 40,0                | 12                               | 111   | 0,25  | -  | 0,57 П кп   |
| КП-504 П2           | 45,0                | 14                               | 140   | 0,25  | -  | 0,57 П кп   |
| КП-602              | 30,0                | 16                               | 220   | 0,3   | -  | 0,46 П кп   |
| СЗУ-ДКЗ             | 30,0                | 41,6                             | 21  | 0,6   | 0,6                                      | $0,41 \cdot 10^{-1} d^{1,05} \Gamma м_{0,64}$ Псуу                        |
| СЗУ-ДКЗ             | 30,0                | 35                               | 21  | 0,6   | 0,6                                      | $0,41 \cdot 10^{-1} d^{1,05} \Gamma м_{0,64}$ Псуу                        |
| СЗУ-ДК1             | 50,8                | 25,8                             | 18  | 0,4   | 0,6                                      | $0,56 \cdot 10^{-1} d^{1,05} \Gamma м_{0,64}$ Псуу                        |
| СЗУ-К4              | 40,0                | 76,8                             | 18  | 0,4   | 0,6                                      | $0,56 \cdot 10^{-1} d^{1,05} \Gamma м_{0,64}$ Псуу                        |
| СЗУ-К2              | 18,0                | 58,5                             | 16  | 0,2   | 0,6                                      | $0,61 \cdot 10^{-1} d^{1,05} \Gamma м_{0,64}$ Псуу                        |
| СЗУ-К1              | 61,0                | 78                               | 18  | 0,4   | 0,6                                      | $1,56 \cdot 10^{-1} d^{1,05} \Gamma м_{0,64}$ Лосу                        |

П<sub>кп</sub> - количество заклепок; Гм - группа материалов; Псуу - количество отверстий, выполняемых на СЗУ

## ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА НОРМ ШТУЧНОГО ВРЕМЕНИ

| Шифр операции | Ф о р м у л ы                              |
|---------------|--|
| 3.001         | $T = 0,293 L^{0,49} n_q K$                 |
| 3.002         | $T = 0,586 L^{0,49} n_q K$                 |
| 3.003         | $T = 0,93 10^{-3} V^{0,39} n_q$            |
| 3.004         | $T = 0,168 10^{-2} L^{0,21} V^{0,73} n_q$  |
| 3.005         | $T = 0,82 10^{-2} L^{0,32} V^{0,27} n_q K$ |
| 3.006         | $T = 0,294 10^{-1} L^{0,58} V^{0,24} n_q$  |
| 3.007         | $T = 0,385 10^{-2} L^{0,56} V^{0,32} n_q$  |
| 3.011         | $T = 0,124 L^{0,17} n_q K$                 |
| 3.012         | $T = 0,19 L^{0,26} n_q K$                  |
| 3.013         | $T = 2,04 0,19 S^{0,8} n_q K$              |

$L, B$  - длина и ширина детали или узла, мм;

$V, S, n_q$  - длина и площадь подгонки, мм<sup>2</sup>;

$n_q$  - количество деталей;

$K$  - количество одновременно работающих.

## 4. РЕШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ САПР-ТП

### 4.1. Выбор варианта последовательности сборки

Каждая типовая последовательность, перечень которых приведен в табл. 3, реализуется при определенных значениях двух факторов: конструктивной особенности сборочной единицы и принятого метода сборки. Такая зависимость описывается с помощью таблицы применимости /табл. 7/.

Выбор варианта последовательности сборки обусловлен классификационными кодами группы сложности узла и принятого метода сборки, определяемых соответственно по табл. 1 и 7. Поскольку таблица 7 отвечает требованиям /7/, /17/, то решением является подмножество  $ПС^*$  области прибытия:

$$ПС^* = (ПС)_{Г_{снi}} \cap (ПС)_{Г_{сдi}} \quad /20/$$

где  $(ПС)_{Г_{снi}}$  и  $(ПС)_{Г_{сдi}}$  - компоненты кортежа групп сложности узла и метода сборки.

Решением  $(ПС)^*$  является одноэлементным множеством, так как в табл. 7 приведена полная разбивка по фактору  $/Г_{сн} /$ . Выбранный вариант определяет последовательность сборки конкретной сборочной единицы в виде последовательности установки групп деталей. При функционировании системы САПР-ТП эта последовательность является промежуточной информацией, которая используется при решении последующих задач.

### 4.2. Выбор состава и последовательности операций технологического процесса

Технологический процесс сборки клепаных узлов состоит из конечного числа операций, выбор которых определяется конкретными условиями: конструктивно-технологическими свойствами узла и входящих в него деталей, а также особенностями сборочного производства на момент проектирования технологического процесса.

Для определения условия выбора каждой операции необходимо составить таблицы их применимости, которые должны отвечать условиям /7/ /17/. В данном случае решением условия соответствия будет многоэлементное подмножество области прибытия, т.е. набор шифров технологических операций:

$$\{шО\}^* = (шО)_{i_1} \cap (шО)_{2i_2} \cap \dots \cap (шО)_{mi_m} \quad /21/$$

ПРИМЕНЯЕМОСТЬ ВАРИАНТОВ

| Шифр варианта<br>последователь-<br>ности сборки<br>/СП/ | Группа сложности |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
|---|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
|   | = 1121           | = 1122 | = 1211 | = 1212 | = 1221 | = 1222 | = 2122 | = 2212 | = 2221 | = 2222 | = 3110 | = 3120 | = 3210 |   |
| 1   | I                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| 2   |                  | I      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| 3   |                  |        | I      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| 4   |                  |        |        | I      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| 5   |                  |        |        |        | I      |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| 6   |                  |        |        |        | I      |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| 7   |                  |        |        |        |        | I      |        |        |        |        |        |        |        |   |
| 8   |                  |        |        |        |        | I      |        |        |        |        |        |        |        |   |
| 9   |                  |        |        |        |        |        | I      |        |        |        |        |        |        |   |
| 10  |                  |        |        |        |        |        |        | I      |        |        |        |        |        |   |
| 11  |                  |        |        |        |        |        |        |        | I      |        |        |        |        |   |
| 12  |                  |        |        |        |        |        |        | I      |        |        |        |        |        |   |
| 13  |                  |        |        |        |        |        |        |        | I      |        |        |        |        |   |
| 14  |                  |        |        |        |        |        |        |        |        | I      |        |        |        |   |
| 15  |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        | I      |        |        |   |
| 16  |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | I      |        |   |
| 17  |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | I      |   |
| 18  |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | I |
| 19  |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | I |

где  $(ш0)_i$  - образы компонент кортежа факторов, от которых зависит выбор операций.

Таблицы применяемости разрабатываются для всех групп деталей, предусмотренных классификатором /см. табл. 2/. В каждую таблицу входит комплекс операций, с помощью которых можно описать процесс сборки из деталей одной или несколько групп.

Таким образом, типовая последовательность сборки /ПС/, определяет только порядок следования групп операций по установке тех или иных деталей. Последовательность операций в каждой группе



Т а б л и ц а 8

ПРИМЕНЯЕМОСТЬ ОПЕРАЦИЙ УСТАНОВКИ ДЕТАЛЕЙ  
ТИПА ОБШИВОК, ГРУППА № 19

| № строки | Шифр операции, ш.0 | Г ос  |       |       |       |       | К уст |     |     |     |     |     |     | ℓ <sub>п.д</sub> |          |            |     |
|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|----------|------------|-----|
|          |                    | = 001 | = 002 | = 003 | = 004 | = 005 | = 1   | = 2 | = 3 | = 4 | = 5 | = 6 | = 7 | = 0              | 0, I-100 | 100, I-600 | 600 |
| 1        | 3.003              | I     | I     | I     | I     | I     | I     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | I                | 0        | 0          | 0   |
| 2        | 3.004              | I     | I     | I     | I     | I     | I     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                | I        | I          | I   |
| 3        | 3.005              | I     | 0     | 0     | 0     | 0     | I     | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I                | I        | I          | I   |
| 4        | 3.006              | I     | I     | 0     | 0     | I     | 0     | 0   | 0   | 0   | I   | 0   | 0   | 0                | I        | I          | I   |

Г ос - код сборочной оснастки /табл. I3/;

К уст - код метода установки детали /табл. I2/;

ℓ<sub>п.д</sub> - длина подгонки, мм;

I - означает возможность установки детали указанным методом;

0 - означает невозможность установки детали.

Т а б л и ц а 9

ПРИМЕНЯЕМОСТЬ ОПЕРАЦИИ УСТАНОВКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА СТОЕК,  
УГОЛКОВ, ПРОФИЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ, ГРУППЫ № 9 И II

| № строки | Шифр операции, ш.0 | Г м   |     |       |     | L | К уст |     |     |     |     |     |     | σ <sub>п</sub> <sup>з</sup> |       | σ <sub>п</sub> <sup>д</sup> |     |       |          |     |   |   |   |
|----------|--------------------|-------|-----|-------|-----|---|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|-------|-----------------------------|-----|-------|----------|-----|---|---|---|
|          |                    | = 1,5 | = 2 | = 2,5 | = 3 |   | 500   | = 1 | = 2 | = 3 | = 4 | = 5 | = 6 | = 7                         | = 0-2 | = 2, I-6                    | = 6 | = 0-2 | = 2, I-6 | = 6 |   |   |   |
| 1        | 3.027              | I     | 0   | 0     | 0   | 0 | I     | I   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                           | 0     | 0                           | 0   | I     | I        | 0   | I | I |   |
| 2        | 3.028              | I     | 0   | 0     | 0   | I | 0     | 0   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                           | 0     | 0                           | 0   | 0     | I        | I   | 0 | I | I |
| 3        | 3.029              | 0     | I   | I     | I   | 0 | I     | I   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                           | 0     | 0                           | 0   | 0     | I        | I   | 0 | I | I |
| 4        | 3.030              | 0     | I   | I     | I   | I | 0     | 0   | I   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                           | 0     | 0                           | 0   | 0     | I        | I   | 0 | I | I |

Г м - группа материалов /табл. I0/;

L - длина детали, мм;

К уст - код метода установки детали /табл. II/;

σ<sub>п</sub><sup>з</sup> - толщина пакета под заклепки, мм;

σ<sub>п</sub><sup>д</sup> - толщина пакета под болты, мм;

## КОДЫ МАТЕРИАЛОВ

Т а б л и ц а 10

| Г м | Г р у п п а м а т е р и а л о в      |                        |
|-----|--------------------------------------|------------------------|
| 1,5 | Цветные сплавы типа Д16              | 43 кг/мм <sup>2</sup>  |
| 2   | Цветные сплавы типа В95              | 60 кг/мм <sup>2</sup>  |
| 2,5 | Углеродистые и конструкционные стали | 90 кг/мм <sup>2</sup>  |
| 3   | Высокопрочные стали и сплавы         | 180 кг/мм <sup>2</sup> |
| 4   | Титановые сплавы                     |                        |

## КОДЫ МЕТОДОВ СБОРКИ

Т а б л и ц а 11

| Г сб | М е т о д с б о р к и     |  |
|------|---------------------------|--|
| 1    | От внешнего контура       |  |
| 2    | От внутреннего контура    |  |
| 3    | От каркаса                |  |
| 4    | По фиксирующим отверстиям |  |
| 5    | По сборочным отверстиям   |  |

## КОДЫ МЕТОДОВ УСТАНОВКИ ДЕТАЛЕЙ

Т а б л и ц а 12

| К уст | М е т о д у с т а н о в к и д е т а л е й |  |
|-------|---|--|
| 1     | По приспособлению                         |  |
| 2     | По приспособлению и разметке              |  |
| 3     | По сборочным отверстиям                   |  |
| 4     | По фиксирующим отверстиям                 |  |
| 5     | На элемент каркаса                        |  |
| 6     | По вырезу                                 |  |

## КОДЫ ТИПОВ СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ

Т а б л и ц а 13

| Г со | Т и п с б о р о ч н о й о с н а с т к и |  |
|------|---|--|
| 1    | Верстак                                 |  |
| 2    | Специальное приспособление              |  |
| 3    | Специализированное приспособление       |  |
| 4    | Упрощенное приспособление               |  |
| 5    | П л а з                                 |  |

#### 4.3. Определение оптимальной номенклатуры сверлильно-клепального оборудования

Одним из основных этапов проектирования технологического процесса сборки является выбор сверлильно-клепального оборудования. В целях более полного учета загрузки оборудования его комплектование целесообразно вести для всей группы сборочных единиц, изготавливаемых на сборочном участке или в цехе. Задача комплектования оборудования решается в два этапа. На первом этапе определяется состав оборудования, на котором могут быть обработаны сборочные узлы, на втором - осуществляется оптимизация его номенклатуры и количества по целевой функции

$$\Pi_{np} \rightarrow \Pi_{np \min}, \quad /22/$$

где  $\Pi_{np}$  - приведенные затраты;

$\Pi_{np \min}$  - минимальные приведенные затраты.

Алгоритм составления перечня оборудования разрабатывается с использованием таблиц применимости I4 и I5, которые формируются на основании действующего отраслевого каталога. В таблицах показано влияние каждого фактора на выбор типа оборудования. Таким образом, по заданным кортежам

$$L_{ki} = \{C_{pi}, L_i, B_i, C_i\}$$

или

$$L_{ci} = \{C_{pi}, L_i, B_i, R_{maxi}, R_{mini}\} \quad /23/$$

выбирается оборудование для каждого собираемого узла.

Здесь  $L_i, B_i, R_{maxi}, R_{mini}, C_i$  соответственно длина, ширина, максимальный и минимальный радиусы кривизны, вес узла.

В результате решения каждой сборочной единице ставится в соответствие несколько моделей оборудования. Эта промежуточная информация служит для решения последующей задачи оптимизации номенклатуры оборудования.

Решение второго этапа начинается с формирования в машинной памяти матрицы распределения оборудования /табл. I6/, для каждого элемента которой можно написать следующее логическое условие:

$f_{kp} = 1$ , если  $K_{oc}$  оборудование применимо для рассматриваемого узла;

0 - в противном случае.

Формирование оптимальной номенклатуры осуществляется частичными переборами.





Таблица 16

## МАТРИЦА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

| Шифр<br>оборудования | Сборочные единицы |           |     |           |     |               |           |
|----------------------|-------------------|-----------|-----|-----------|-----|---------------|-----------|
|                      | 1                 | 2         | ... | p         | ... | m-1           | m         |
| 1                    | $q_{1,1}$         | $q_{2,1}$ | ... | $q_{p,1}$ | ... | $q_{(m-1),1}$ | $q_{m,1}$ |
| 2                    | $q_{1,2}$         | $q_{2,2}$ | ... | $q_{p,2}$ | ... | $q_{(m-1),2}$ | $q_{m,2}$ |
| ...                  | ...               | ...       | ... | ...       | ... | ...           | ...       |
| n                    | $q_{1,n}$         | $q_{2,n}$ | ... | $q_{p,n}$ | ... | $q_{(m-1),n}$ | $q_{m,n}$ |

Таблица 17

## МАТРИЦА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ

| Оборудование | Сборочные единицы |           |     |           |     |               |           |
|--------------|-------------------|-----------|-----|-----------|-----|---------------|-----------|
|              | 1                 | 2         | ... | p         | ... | m-1           | m         |
| 1            | $T_{1,1}$         | $T_{2,1}$ | ... | $T_{p,1}$ | ... | $T_{(m-1),1}$ | $T_{m,1}$ |
| 2            | $T_{1,2}$         | $T_{2,2}$ | ... | $T_{p,2}$ | ... | $T_{(m-1),2}$ | $T_{m,2}$ |
| ...          | ...               | ...       | ... | ...       | ... | ...           | ...       |
| n            | $T_{1,n}$         | $T_{2,n}$ | ... | $T_{p,n}$ | ... | $T_{(m-1),n}$ | $T_{m,n}$ |

Математическая модель в этом случае имеет вид:

$$\Pi_{\Sigma} = \Pi_{\Sigma \min};$$

$$\sum_{\kappa}^n q_{\rho\kappa} x_{\rho\kappa} = 1;$$

$$X_{\rho,i} = \begin{cases} 1 & \text{— если для рассматриваемого узла выбрано } \kappa\text{-е оборудо-} \\ & \text{дование;} \\ 0 & \text{— в противном случае.} \end{cases}$$

$\Pi_{\Sigma}$  — суммарные приведенные затраты определяются из следующего выражения:

$$\Pi_{\Sigma} = (C_{\tau}^{\kappa} + E_{н} K_{0}^{\kappa}) + C_{пл}^{\kappa} + C_{до}^{\kappa}, \quad /24/$$

где  $C_{\tau}^{\kappa}$  — технологическая себестоимость сверления или клепки рассматриваемого узла по  $\kappa$ -м оборудованию;

$E_{н}$  — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений;

$K_{0}^{\kappa}$  — капитальные вложения на  $\kappa$ -е оборудование;

$C_{пл}^{\kappa}$  — стоимость потребных производственных площадей для  $\kappa$ -го оборудования;

$C_{до}^{\kappa}$  — стоимость дополнительного оборудования.

Решением задачи  $/X_{\rho\kappa}/$  является набор оборудования, для которого  $\Pi_{\Sigma} = \Pi_{\Sigma \min}$ .

В формуле /24/ технологическая себестоимость  $/C_{\tau}^{\rho\kappa}/$  величина переменная, так как одной из ее составляющих является трудоемкость выполнения операций сверления или клепки. Поэтому после составления матрицы распределения оборудования в памяти машины формируется аналогичная матрица распределения трудоемкости для каждого вида оборудования и соответствующих ему сборочных единиц /таб. 17/. Расчет трудоемкости сверлильных и клепальных работ осуществляется по зависимостям, приведенным в табл. 5.

В состав расчетных формул входят переменные величины: количество заклепок или отверстий  $/n_3, n_0/$  для каждой сборочной единицы. Эти величины определяются технологом по сборочному чертежу и заносятся в карту исходной информации.

Результатом расчета второго этапа является ведомость оборудования, в которой приводится перечень оборудования, потребное количество и коэффициент загрузки, а также указываются объекты производства, обрабатываемые на этом оборудовании.

#### 4.4. Расчет норм штучного времени

Решение задачи "Расчет норм штучного времени" сводится к опре-

делению нормативов для каждой операции технологического процесса по степенной зависимости /19/.

Выбор соответствующей операции производится по ее шифру из массива "Перечень формул" /см. табл. 6/.

Так как определение трудоемкости базируется на нормативах времени, разработанных для серийного выпуска изделия, то возникает необходимость приведения ее к реальному периоду освоения производства изделия. Это осуществляется с помощью специальных коэффициентов  $K_T$ , которые определяются по задаваемой для каждого изделия динамике трудоемкости

$$T = T_1 N^{-\alpha}, \quad /25/$$

где  $T_1$  - трудоемкость первого изделия, н/ч;  
 $N$  - нормативный номер изготавливаемого изделия;  
 $\alpha$  - показатель степени.

Период серийного выпуска изделий определяется порядковым номером изготавливаемого изделия. Для различных типов изделий этот номер различен. Например, для самолетов тяжелого класса эта цифра составляет 100-120 машин. На основании этих данных легко определяются коэффициенты изменения трудоемкости /  $K_T$  / для каждого периода освоения производства изделий.

## 5. ВХОДНАЯ И ВЫХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ САПР-ТП СБОРКИ

### 5.1. Входная информация

Совокупность необходимых конструктивно-технологических факторов описывающих узел в сборе и входящие в него детали, а также состояние сборочного производства на момент проектирования технологического процесса представляет массив переменной информации автоматизированной системы. Как уже указывалось, вся информация разделяется на качественную и количественную. Примером количественной информации служат геометрические характеристики деталей и узлов /длина, ширина детали и ула, диаметр отверстий и т.д./, количество крепежных элементов, число работающих, программа выпуска изделия и др.

К качественной информации относятся классификационный код сборочного узла, код метода герметизации и т.д.

Вся качественная информация представляется в виде цифровых кодов с помощью кодировочных таблиц и классификаторов, которые разра-

бываются по следующей методике.

Качественная информация делится на группы понятий и каждая группа обозначается идентификатором. Затем составляется минимальный словарь понятий для каждой группы и каждому понятию присваивается порядковый номер, который и является числовым кодом. Примеры кодировочных таблиц приведены в табл. 7-13.

## 5.2. Карта входной переменной информации

Основной формой существования переменной информации системы является карта входной информации.

Карта входной информации представляет собой множество однотипных кортежей конструктивно-технологических факторов, которые описывают конструкцию рассматриваемых сборочных единиц и состояние сборочного производства. В целях рационального размещения необходимых сведений о конкретном сборочном узле и входящих в него деталей, форма бланка карты разработана таким образом, чтобы на ней размещался минимально необходимый объем информации. Карта представляет собой таблицу с определенным количеством узких и широких строчек и столбцов. Узкие строки в каждой широкой строке предназначены для последовательного их заполнения идентификаторами факторов их численного значения. При этом каждая последующая строка служит продолжением предыдущей. Линия широких строк определяет границы размещения информации об элементе конструкции или о сборочном узле в целом /первая широкая строка карты/. Каждый широкий столбец определяет границы размещения номеров и значений факторов. Левая часть широкого столбца предназначена для размещения идентификатора фактора, правая - его численного значения. На поле карты в начале каждой широкой строки размещены идентификаторы обязательных факторов. Это в некоторой степени позволяет сократить время подготовки входной информации /табл. 18/.

## 5.3. Выходная информация системы

Выходная информация системы представляется в виде трех печатных документов: заполнение карт технологического процесса, подборочной ведомости деталей по заданиям и ведомости оборудования.

Карты технологического процесса содержат все необходимые реквизиты индивидуального технологического процесса сборки. Форма бланков, получаемых при автоматизированном проектировании, имеет ряд отличий от бланков, которые используются при "ручном" проек-

| К а р т а в х о д н о й и н ф о р м а ц и и |                                    | Наименование   |                | № чертежа      |                | Лист           |              |  |
|---|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--|
|   |                                    |                |                |                |                | Листов         |              |  |
| К. Ш.                                       | Идентификаторы и значения факторов |                |                |                |                |                |              |  |
| Наименование узла детали                    | Чертеж №                           | Фактор         | Фактор         | Фактор         | Фактор         | Фактор         | Фактор       |  |
|   |                                    | Идент. Значен. | Идент. Знач. |  |
| №1 /  | №2 /                               | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |
|   |                                    | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |
|   |                                    | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |
| №1 /  | №2 /                               | №10 /          | №4 /           | №5 /           | №6 /           | №7 /           | №7 /         |  |
|   |                                    | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |
|   |                                    | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |
|   |                                    | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |
| №1 /  | №2 /                               | №10 /          | №4 /           | №5 /           | №6 /           | №7 /           | №7 /         |  |
|   |                                    | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |
|   |                                    | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |
|   |                                    | № /            | № /            | № /            | № /            | № /            | № /          |  |

|               |            |               |            |            |              |
|---------------|------------|---------------|------------|------------|--------------|
| Основан. Изм. | Дата Подп. | Основан. Изм. | Дата Подп. | Копировщик | Оператор ИВЦ |
|               |            |               |            | Профессор  | Технолог     |

тировании. Это вызвано технологическими характеристиками автоматических печатающих устройств /АЦПУ/, а также особенностями автоматизированного проектирования.

Прежде всего ширина граф реквизитов определяется размерами печатных знаков и расстояний между ними. В карте не предусматриваются реквизиты "наименование переходов", "нормировочная таблица №" и др. При машинном проектировании на одном листе карты печатается заведомо обусловленное количество операций, обычно 5-7 операций. Перенос текста операции с одного листа на другой не предусматривается. Форма карты печатается одновременно с текстом технологического процесса.

Подборочные ведомости деталей по заданиям (комплектовочные карты) мало отличаются от документов, получаемых "вручную". Они содержат перечень деталей, их количество, а также цех поставщик на элементы конструкции, который устанавливается при выполнении одного задания.

## 6. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР-ТП

### 6.1. Состав программного обеспечения системы

Программное обеспечение системы состоит из шести групп:

- служебные программы подготовки массива входной информации;
- служебные программы подготовки и ведения массивов нормативно-справочной информации;
- основные программы решения задач системы;
- стандартная программа системы;
- программы печати выходной информации.

Кроме того, при функционировании системы используется комплекс стандартных программ математического обеспечения ЭВМ.

### 6.2. Назначение программ системы

Служебные программы подготовки массива входной информации служат для ввода, распаковки, упорядочивания и сортировки входной переменной информации. В результате функционирования этих программ входная информация рационально размещается во внешней памяти ЭВМ, при этом она более эффективно используется при решении задачи системы.

Служебные программы подготовки массивов нормативно-справочной

информации служат для ввода и подготовки массивов НСИ, которые используются при решении задач системы. При этом производится формирование массивов сводного перечня технологических операций, перечня вариантов последовательности сборки и перечня формул для расчета трудоемкости. Кроме того, предусматривается программа для вывода их на печать для контроля и корректировки.

С помощью основных программ системы производится выбор варианта последовательности сборки, выбор состава и последовательности операций технологического процесса, выбор оптимальной номенклатуры сверлильно-клепального оборудования. Организация работы этих программ и назначение последовательности автоматизированного проектирования технологических процессов осуществляется с помощью управляющей программы.

Стандартная программа используется в процессе решения основных задач. С ее помощью происходит выбор решений по таблицам применимости.

Для вывода и печати выходных документов используется комплекс специальных программ, которые позволяют получать рабочие технологические документы.

#### Л и т е р а т у р а

1. О р е О. Теория графов. М. "Наука". 1968.
2. Ш и х а н о в и ч. Введение в современную математику. М., "Наука". 1970.
3. Г а р а н с к и й Г.К. и др. Элементы теории автоматизации машиностроительного проектирования с помощью вычислительной техники. М., "Наука и техника". 1970.
4. Г а р а н с к и й Г.К. Алгоритм показа решений при функциональных, всюду определенных и суръективных соответствиях. Вычислительная техника в машиностроении. Минск, 1966.

# СО Д Е Р Ж А Н И Е

|   |    |
|---|----|
| 1. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА САПР-ТП СБОРКИ.....  | 3  |
| 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО<br>ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ..... | 6  |
| 2.1. Формализованное описание конструкции<br>сборочных узлов.....                                   | 6  |
| 2.2. Использование теории множеств для решения<br>задач САПР-ТП.....                                | 7  |
| 2.3. Классификация сборочных единиц и входящих<br>в них деталей.....                                | 10 |
| 3. НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ САПР-ТП СБОРКИ.....   | 15 |
| 3.1. Варианты последовательности сборки.....  | 15 |
| 3.2. Сводный перечень технологических операций...   | 17 |
| 3.3. Перечень сверлильно-клепального оборудования...  | 17 |
| 3.4. Перечень формул для расчета норм штучного<br>времени.....                                      | 18 |
| 4. РЕШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ САПР-ТП.....  | 21 |
| 4.1. Выбор варианта последовательности сборки....   | 21 |
| 4.2. Выбор состава и последовательности операций<br>технологического процесса.....                  | 21 |
| 4.3. Определение оптимальной номенклатуры свер-<br>лильно-клепального оборудования.....             | 26 |
| 4.4. Расчет норм штучного времени.....  | 30 |
| 5. ВХОДНАЯ И ВЫХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ САПР-ТП СБОРКИ.....  | 31 |
| 5.1. Входная информация.....  | 31 |
| 5.2. Карта входной переменной информации.....   | 32 |
| 5.3. Выходная информация системы.....   | 32 |
| 6. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР-ТП.....   | 34 |
| 6.1. Состав программного обеспечения системы..  | 34 |
| 6.2. Назначение программ системы.....   | 34 |
| Л И Т Е Р А Т У Р А .....   | 35 |