ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

САПР. ТИПОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

РД 50–464–84

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1985

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ Московским авиационным технологическим институтом им. К. Э. Циолковского Минвуз РСФСР (МАТИ)

Ректор Б. С. Митин
Руководитель темы В. В. Павлов

ИСПОЛНИТЕЛИ

МАТИ — В. С. Хухорев, В. П. Соколов, О. С. Самсонов, В. Н. Малахов, Е. А. Медведев, А. В. Цырков;
ВНИИНМАШ — В. Ф. Курочкин, Д. В. Кривомазов, Е. С. Кранков, П. А. Шалаев, С. А. Терпенева

ВНЕСЕНЫ Министерством высшего и среднего специального образования РСФСР

УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23 апреля 1984 г. № 1379

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

САПР. Типовые математические модели объектов проектирования в машиностроении

РД 50—464—84

Редактор *Т. А. Киселева*
Технический редактор *О. Н. Никитина*
Корректор *Е. А. Богачкова*

Сдано в наб. 02.11.84 Подп. к печ. 11.11.85 Т—19625 Формат 60×90$^{1}/_{16}$ Бумага типографская № 1 Гарнитура литературная Печать высокая 12,5 усл. печ. л. 12,75 усл. кр.-отт. 14,96 уч.-изд. л. Тираж 10000 Зак. 3573 Изд. № 8233/4 Цена 1 руб.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

САПР

Типовые математические модели объектов проектирования в машиностроении

РД 50—464—84

Введены впервые

Утверждены Постановлением Госстандарта от 23 апреля 1984 г. № 1379, срок введения установлен

с 01.03.85

Настоящие методические указания устанавливают общие принципы разработки математических моделей объектов проектирования, обеспечивающих создание математического, информационного, лингвистического и программного обеспечений автоматизированного проектирования в соответствии с принципами создания САПР по ГОСТ 23501.0—79.

Методические указания распространяются на отработку изделий на технологичность методами математического моделирования производства, проектирование технологических процессов механосборочного производства, проектирование технологической оснастки и простых изделий.

1. СОСТАВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.10. *В настоящее время в отраслях промышленности широко развернулись работы по созданию и вводу в действие систем автоматизированного проектирования (САПР), эффективность которых во многом зависит от соблюдения принципов системного единства, развития, совместимости и стандартизации подсистем и компонентов САПР. Эти принципы можно реализовать, используя иерархическую систему математического моделирования объектов проектирования [6, 7] при создании математического, информационного и программного обеспечения САПР.

1.11. Объектами проектирования в САПР могут быть объекты и системы различного назначения, их подсистемы и отдельные элементы. Сама САПР относится к числу проектных систем и также может быть объектом проектирования.

---

* Нумерация пунктов отражает смысловую подчиненность и уровни детализации описания рассматриваемых факторов

© Издательство стандартов, 1985

1.12. На основе иерархической системы математического моделирования разрабатываются типовые математические модели и алгоритмы проектирования. Данная система моделирования позволяет создавать единую систему взаимосвязанных математических моделей разнородных объектов и процессов, на основе которой создается по блочному принципу математическое и информационное обеспечение и по модульному принципу — программное обеспечение САПР.

1.13. Типовые математические модели и алгоритмы применяются при создании САПР конструкторского и технологического назначения в организациях и на предприятиях машиностроения.

1.14. В зависимости от назначения могут применяться типовые математические модели описания исходных данных, типовые математические модели объектов проектирования, типовые математические модели процесса проектирования, типовые математические модели документирования результатов проектирования. Область применения конкретных типовых математических моделей определяется их назначением.

1.20. При проектировании сложных изделий используется не одна, а несколько математических моделей, различающихся уровнями абстрагирования в описании объекта, степенью полноты представления данных и уровнями унификации проектных решений. Различия в применяемых моделях обусловлены содержанием задач, решаемых на разных этапах проектирования.

1.30. В общем виде проектирование сложного изделия разделяется на этапы структурного и параметрического проектирования: на первом этапе определяется структура проектируемого объекта, а на втором этапе осуществляется расчет технических характеристик и других параметров объекта.

1.31. При синтезе структуры объекта решаются задачи выбора возможных вариантов структуры — например, выбор кинематической схемы и компоновки металлорежущего станка или редуктора, и вычислительные задачи, связанные с оценкой возможных вариантов и выбором оптимальной структуры объекта. Синтез структуры осуществляется по табличным, сетевым и перестановочным моделям структуры объекта. Расчет технико-экономических показателей и другие расчеты, связанные с выбором оптимальной структуры, осуществляются по количественным моделям. Все модели, используемые при синтезе структуры объекта, представляют собой единую систему моделей, взаимосвязанных через составы контуров объекта проектирования.

1.32. Расчет технических характеристик и других параметров изделия и его элементов включает в себя большое количество расчетов физически разнородных процессов и явлений. При этом могут использоваться весьма сложные специальные методы (метод конечных элементов, различные методы оптимизации и т. д.). Поскольку такие расчеты связаны с использованием различных методик расчета и большим составом разнородных данных, количественные модели, как правило, строятся на различных уровнях

абстрагирования; при этом применяются, кроме количественных отношений, табличные, сетевые и перестановочные модели числовых величин, отражающие структуру отношений и связей между ними, а также структуру отношений и связей между количественными моделями и контурами объекта проектирования.

1.40. Основные свойства системы моделей объекта проектирования характеризуются:

общей структурой системы моделей объекта проектирования, раскрывающей взаимосвязь различных сторон описания объекта и обеспечивающей системную связность его элементов и всех стадий процессов проектирования;

составом частных моделей проектирования, описывающих свойства объекта применительно к решению отдельных задач проектирования;

составом моделей процесса проектирования в САПР.

1.41. Частные математические модели представляют различные стороны объекта проектирования. Очевидно, чем сложнее проектируемый объект, тем большее количество частных моделей используется для описания этого объекта, и тем более разнообразны по своей форме и содержанию сами частные математические модели. В то же время принципы автоматизированного проектирования в САПР требуют комплексного решения всех задач проектирования объекта как единого целого. Поэтому все частные модели объекта проектирования должны представляться в виде единой системы, в которой разнородные свойства и стороны объекта могут быть сопоставимыми, отраженными в совместимых математических моделях. Такая связность частных моделей обеспечивается при использовании иерархической системы моделирования. В этой системе все математические модели объекта представляются в виде иерархической системы моделей, раскрывающей взаимосвязь различных сторон описания объекта и обеспечивающей системную связность его элементов и свойств на всех стадиях процесса проектирования, что позволяет комплексно решать все основные задачи технической подготовки производства.

1.50. При решении разных задач требуемый состав и полнота представления и исходных данных, и требуемых данных в проектном решении могут быть весьма различными. В этих случаях применяются расчетные модели проектирования, включающие в себя минимум данных, необходимых и достаточных для решения конкретной задачи с учетом требуемой точности решения. При разработке расчетной модели рассматриваются только свойства, существенно влияющие на решение конкретной задачи.

2. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В САПР

2.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В САПР

2.1.10. Математическое обеспечение САПР включает в себя методы, математические модели и алгоритмы, используемые при проектировании. Свойства математического обеспечения относятся к основным факторам, определяющим особенности программного, информационного и лингвистического обеспечения САПР.

2.1.20. В САПР, создаваемых и развиваемых с учетом общесистемных принципов, математическое, информационное и программное обеспечение должны создаваться на основе единой системы математического моделирования, обеспечивающей:

1) создание взаимосвязанных моделей разнородных объектов проектирования (изделий, технологических процессов, средств оснащения и т. д.);

2) построение взаимосвязанных моделей объектов проектирования, соответствующих разному уровню знаний и различной полноте представления данных;

3) адаптацию математических моделей объекта применительно к различным видам вычислительной техники (ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ, микропроцессоры, средства оргтехники и т. п.);

4) адаптацию других методов моделирования, моделей и алгоритмов с целью включения их в данную систему моделирования.

Указанным требованиям в значительной мере удовлетворяет система ИСТРА — иерархическая система математического моделирования объектов на различных уровнях абстрагирования [6, 7]. В рекомендациях эта система принята за основу при создании структурных математических моделей объектов проектирования, отражающих теоретико-множественные и логические свойства моделируемых объектов. При создании количественных моделей объектов проектирования учитывались и другие, широко известные и прошедшие апробацию методы моделирования.

2.1.30. В системе ИСТРА любой объект — конструкция изделия или оснастки, технологический процесс или процесс проектирования — моделируется одинаковыми средствами. Рассматриваемый на любом уровне абстрагирования объект A с математической точки зрения имеет один и тот же прообраз $\mathbf{A}$, адекватный реальному объекту; при этом A содержит лишь некоторую часть данных об $\mathbf{A}$.

2.1.31. В моделях различаются данные трех типов: данные об элементах самого объекта моделирования, данные о свойствах и данные об отношениях между элементами и свойствами объекта. Составы этих данных представляются в виде множества элементов самого объекта A, множества F контуров и множества R

отношений между элементами и контурами. Понятие контура является экспликацией таких понятий, как свойство, признак, характеристика, параметр и т. п.

2.1.40. Абстрагирование при моделировании объекта осуществляется по двум направлениям — по глубине структурирования и по степени абстрагирования элементов и контуров объекта, а также отношений между ними. По глубине структурирования сложный объект рассматривается либо как неструктурированный объект A, представляющий собой единое целое, либо как система взаимосвязанных элементов одного уровня, либо как многоуровневая иерархическая система. По степени абстрагирования объект моделируется на уровнях теоретико-множественных (методами теории множеств и теории графов), логических (методами математической логики) и количественных свойств и отношений. На каждом из этих основных уровней возможны описания объекта с различной степенью полноты и обобщения, соответствующие разным уровням абстрагирования теоретико-множественных, логических и количественных свойств и отношений.

2.1.41. Переход от одного к другому уровню описания в системе ИСТРА осуществляется регламентированными способами с помощью межуровневых отношений с указанием границ и условий перехода одних величин в другие. Переход от количественной величины a_i^N к логической величине a_i^L определяется отношением R_i^{NL} ; переход от a_i^N к теоретико-множественной величине — элементу a_i^S множества определяется отношением R_i^{NS}; переход от логической величины a_i^L к элементу a_i^S определяется отношениями R_i^{LS}. Аналогичными способами определяются и переходы при описании контуров на различных уровнях абстрагирования. При решении конкретных задач, когда принадлежность данных к теоретико-множественному, логическому или количественному уровню их представления непосредственно ясна из контекста задачи, индексы N, L и S в обозначении рассматриваемых величин могут опускаться.

2.1.42. Регламентация способов описания переходов одних величин в другие позволяет установить взаимосвязь описаний различных теоретико-множественных, логических и количественных свойств и отношений при моделировании объекта в системе ИСТРА. При переходе на более высокий уровень абстрагирования осуществляется свертка данных о моделируемом объекте, а при переходе к более детальному уровню описания — развертка этих данных. Система ИСТРА обеспечивает возможность представления в одной математической модели разнородных, в семантическом смысле, объектов при переходе к более абстрактным уровням описания, так как некоторые свойства и отношения на более абстрактном уровне оказываются изоморфными.

2.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫХ, ЛОГИЧЕСКИХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ СВОЙСТВ И ОТНОШЕНИЙ ОБЪЕКТОВ

2.2.10. На теоретико-множественном уровне моделируются состав элементов объекта A в виде неупорядоченного или упорядоченного множества $A=(a_1, a_2, \ldots a_n)$, состав контуров этого объекта $F(A)=(F_1, F_2, \ldots, F_m)$, составы контуров $F(a_i)\subseteq F(A)$ элементов объекта и бинарные отношения между элементами и контурами; к ним относятся бинарные отношения иерархической подчиненности, смежности и порядка, обусловленные функциональной, информационной и т. п. связью между элементами и контурами объекта.

2.2.11. Теоретико-множественные отношения образуют множество R^S, включающее в себя:

подмножество $R^S(A)$ отношений между элементами объекта A;

подмножество $R^S(a_i)$ отношений между a_i и другими элементами A;

подмножества $R^S(F(A))$ и $R^S(F(a_i))$ отношений между контурами $F(A)$ и $F(a_i)$;

подмножества $R^S(F_j(A))$ и $R^S(F_j(a_i))$ отношений между F_j и другими контурами $F(A)$ или $F(a_i)$;

подмножество $R^S(A, F(A))$ отношений между элементами и контурами объекта A.

Каждое конкретное бинарное отношение представляется в виде подмножества декартова произведения соответствующих множеств, в виде булевой матрицы или графа.

2.2.12. Бинарные отношения $R_k^S \in R^S(A)$ между элементами A представляются как подмножества декартова произведения $A\times A$ или в виде булевой матрицы $[A\times A]$

$$\| c_{i(j)} \|_A = [A\times A] = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \ldots & a_n \\ c_{1(1)} & c_{1(2)} & \ldots & c_{1(n)} \\ c_{2(1)} & c_{2(2)} & \ldots & c_{2(n)} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ c_{n(1)} & c_{n(2)} & \ldots & c_{n(n)} \end{bmatrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2, \\ \ldots \\ a_n \end{matrix} \qquad (2.1)$$

где $c_{i(j)}=1$, если бинарное отношение между элементами a_i и a_j существует, и $c_{i(j)}=0$ — в противном случае.

Матрица (2.1) может рассматриваться как матрица смежности вершин графа $G=(A, C)$, дуги $c_{i(j)}=1$ которого эквивалентны элементам $c_{i(j)}=1$ матрицы $\|c_{i(j)}\|$. Примерами отношений $R_k^S(A)$ являются граф (рис. 2.1, *б*) сопряжений деталей узла и графы (рис. 2.1, *в, г*) сопряжений, порождающих механические связи между деталями узла в направлениях OX и OZ. Каждая i-я строка (столбец) матрицы (2.1) рассматривается как представление бинарного отношения $R_k^S(a_i)$ между a_i и элементами

подмножества $A_i \subset A$, $A_i = (a_{i(1)}, a_{i(2)}, \ldots a_{i(m)})$, для которого элементы строки (столбца) матрицы равны единице.

2.2.13. Бинарные отношения $R_k^S \in R^S$ $(F(A))$ между контура-

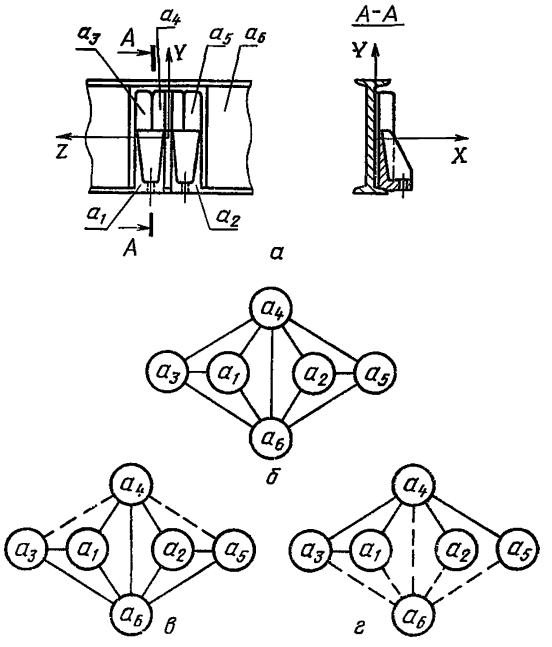


Рис. 2.1. Узел лонжерона:

а—a_1, a_2—фитинги; a_3, a_4, a_5—профили; a_6—лонжерон; *б*—граф сопряжений деталей узла; *в*, *г*—графы, ребра которых соответствуют сопряжениям, порождающим механические связи в направлении осей *OX* и *OZ*

ми объекта представляются как подмножества $[F(A) \times F(A)]$ декартова произведения $F(A) \times F(A)$ или в виде булевой матрицы:

$$\| c_{i(j)} \|_{F(A)} = [F(A) \times F(A)] = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & \ldots & F_m \\ c_{1(1)} & c_{1(2)} & \ldots & c_{1(m)} \\ c_{2(1)} & c_{2(2)} & \ldots & c_{2(m)} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ c_{m(1)} & c_{m(2)} & \ldots & c_{m(m)} \end{bmatrix} \begin{matrix} F_1 \\ F_2 \\ \ldots \\ F_m \end{matrix}, \qquad (2.2)$$

где $c_{i(j)} = 1$, если бинарное отношение между F_i, F_j существует и $c_{i(j)} = 0$ — в противном случае. Например, бинарными отношениями между геометрическими поверхностями элемента конструкции будут следующие отношения:

поверхности F_i, F_j смежны,

поверхности F_i, F_i соединены размером τ_{ij},

поверхность F_i является измерительной базой для F_j и т. п.

Матрицу (2.2) можно рассматривать как матрицу смежности вершин графа $G=(F(A), C)$, дуги $c_{i(j)}=1$ которого эквивалентны элементам $c_{i(j)}=1$ матрицы (2.2). Каждая j-я строка (столбец) матрицы (2.2) рассматривается как представление бинарного отношения $R_k^S(F_j(a_i))$ между F_j и контурами (F_{j1}, F_{j2}, . . . , F_{jm-1}), для которых элементы строки (столбца) матрицы равны единице. Бинарные отношения $R_\omega^k(F_j(a))$ между контурами элемента a_i описываются аналогичным образом в виде булевой матрицы $\|c_i\|_{F(a_i)}=[F(a)\times F(a_i)]$ или в виде графа $G=(F(a_i), C)$. Примером таких графов являются графы (рис. 2.2, *б*, *в*) размерных связей геометрических контуров деталей узла (рис. 2.1).

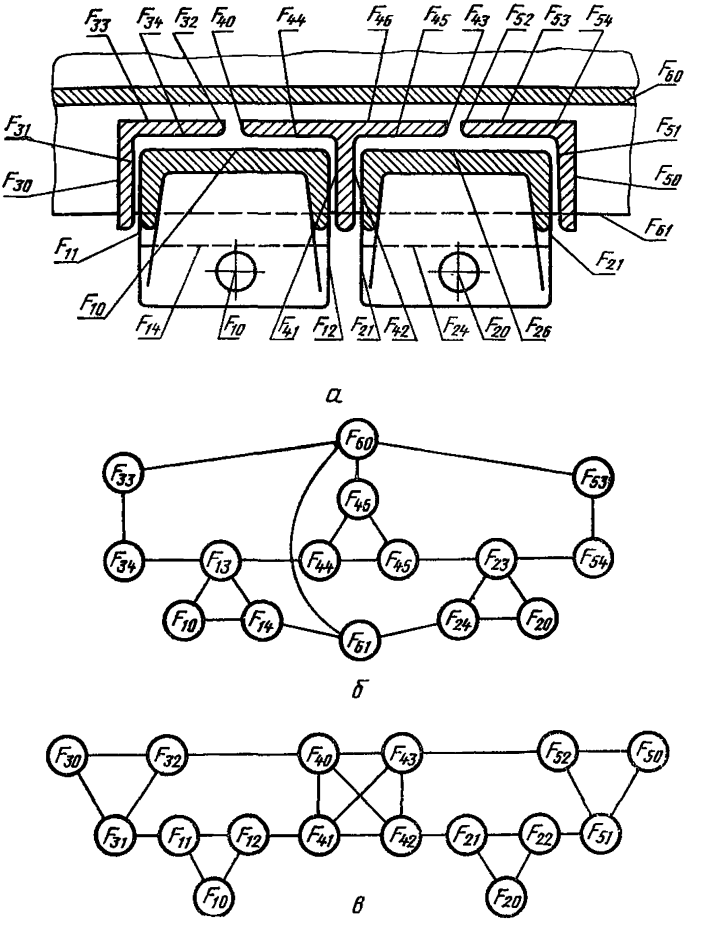


Рис. 2.2. Размерные связи поверхностей и осей деталей узла лонжерона:

а—поверхности и оси деталей узла; *б*—размерные связи, параллельные *OX*; *в*—размерные связи, параллельные *OZ*

2.2.14. Бинарные отношения $R^S\ (A,\ F(A))$ описывают составы контуров элементов $a_i \in A$; эти отношения описываются в виде булевых матриц:

$$\| c_{i(j)} \|_{A,F(A)} = [A \times F(A)] = \begin{matrix} \begin{matrix} F_1 & F_2 & \dots & F_m \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} c_{1(1)} & c_{1(2)} & \dots & c_{1(m)} \\ c_{2(1)} & c_{2(2)} & \dots & c_{2(m)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n(1)} & c_{n(2)} & \dots & c_{n(m)} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{matrix}, \qquad (2.3)$$

где $c_{i(j)} = 1$, если F_j входит в состав $F(a_i)$ контуров элемента. Примерами отношения $R_k^S\ (A,\ F(A))$ являются матрица контуров (рис. 2.3, *б*) группы деталей, обрабатываемых по одному групповому технологическому процессу, и матрица контуров соединений (рис. 2.4, *б*) деталей узла (рис. 2.1).

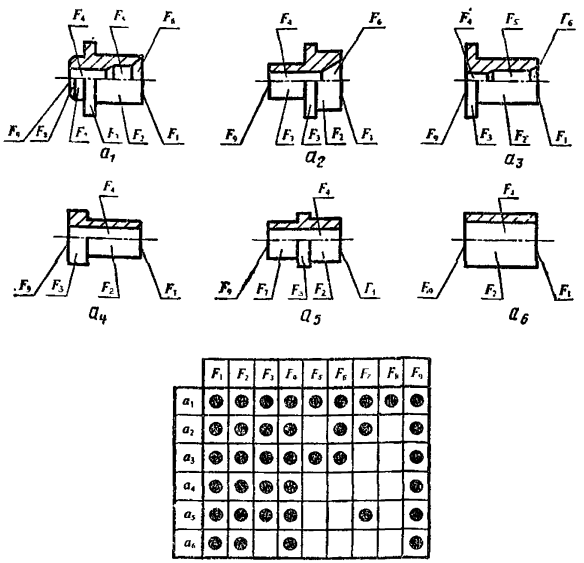


Рис. 2.3. Группа деталей, обрабатываемых по одному типовому технологическому процессу:

а—детали; *б*—матрица $[A \times F(A)]$ контуров деталей

Примечание. ● — элементы матрицы $C_{i(j)} = 1$.

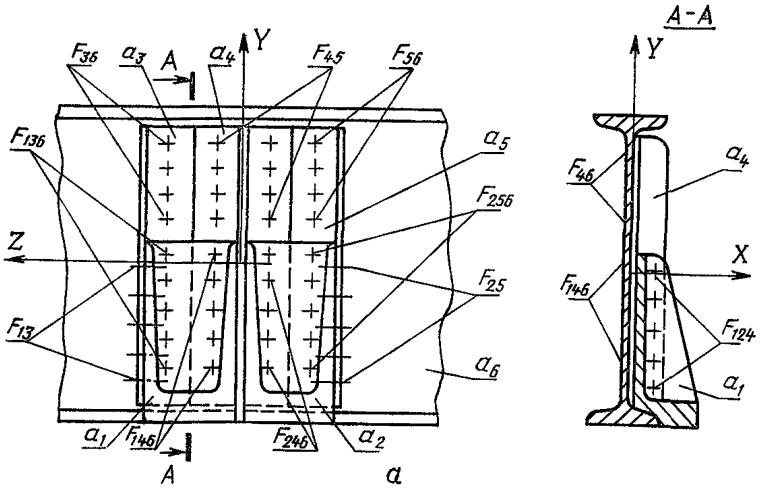
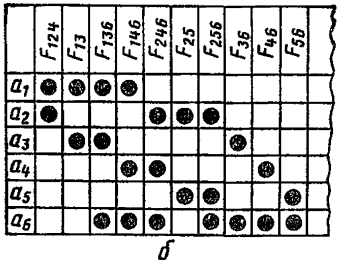


Рис. 2.4(*а*). Контуры соединений деталей лонжерона:

a_1, a_2—фитинги; a_3, a_4, a_5—профили; a_6—лонжерон; контуры соединений: F_{124}, F_{13}, ..., F_{56}

2.2.15. В некоторых случаях множество контуров $F(a_i)$ целесообразно разделять на подмножества $F^-(a_i)$ заходящих и $F^+(a_i)$ исходящих контуров, характеризующих входные и выходные свойства a_i в системе A, и подмножество $F^\circ(a_i)$ собственных контуров, характеризующих функциональные и другие собственные свойства элемента a_i. В этих случаях вместо одной матрицы контуров (2.3) задаются три матрицы:



б

Рис. 2.4(*б*). Матрица контуров соединений деталей узла лонжерона

$$\| c_{i(j)} \|_{A,F^-(A)} = [A \times F^-(A)]; \qquad (2.4)$$

$$\| c_{i(j)} \|_{A,F^+(A)} = [A \times F^+(A)]; \qquad (2.5)$$

$$\| c_{i(j)} \|_{A,F^\circ(A)} = [A \times F^\circ(A)], \qquad (2.6)$$

называемые соответственно матрицами заходящих, исходящих и собственных контуров элементов $a_i \in A$.

2.2.16. Если количество множеств более двух, то бинарные отношения между их элементами описываются в виде блочной матрицы. Например, для совокупности множеств $A=\{A_1, A_2, \ldots, A_k\}$ блочная матрица бинарных отношений между элементами A_i, $A_j \subset A$ имеет вид

$$\| c_{i(j)} \|_A = \begin{array}{c} \begin{matrix} A_1 & A_2 & & A_k \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} [A_1 \times A_1] & [A_1 \times A_2] & \ldots & [A_1 \times A_k] \\ [A_2 \times A_1] & [A_2 \times A_2] & \ldots & [A_2 \times A_k] \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ [A_k \times A_1] & [A_k \times A_2] & \ldots & [A_k \times A_k] \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \ldots \\ A_k \end{matrix} . \qquad (2.7)$$

В этой матрице блоки вида $[A_i \times A_i]$ описывают бинарные отношения между элементами одного и того же множества A_i, т. е. аналогичны матрице (2.1); блоки вида $[A_i \times A_j]$ описывают бинарные отношения элементов $a_i \in A_i$ с элементами $a_j \in A_j$, т. е. между элементами разных множеств. Например, на рис. 2.5 приведена блочная матрица бинарных отношений между деталями узла (рис. 2.1) и их геометрическими контурами, отражающих механические и размерные связи в направлении OZ. Здесь блок $[A \times A]$ есть матрица сопряжений деталей узла, соответствующая графу сопряжений (рис. 2.1, *г*); блоки вида $[A \times F(a_i)]$ описывают расчленение a_i на контуры $F_j \in F(a_i)$; блоки вида $[F(a_i) \times A]$ описывают вхождение контуров $F(a_i)$ в a_i. Остальные блоки соответствуют матрице смежности вершин графа размерных связей (рис. 2.2, *в*), причем блоки вида $[F(a_i) \times F(a_i)]$ соответствуют собственным размерам детали a_i, а блоки $[F(a_i) \times F(a_j)]$ соответствуют размерным связям детали a_i с другой деталью a_j.

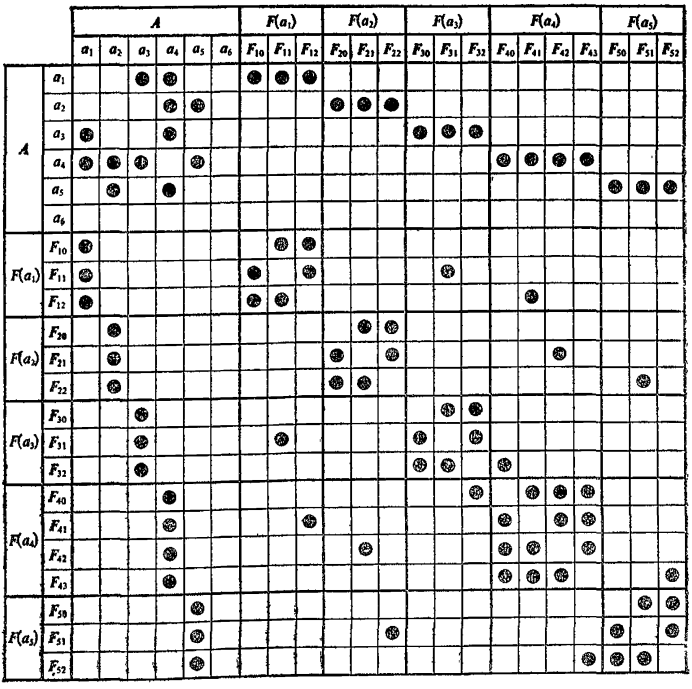


Рис. 2.5. Блочная матрица бинарных отношений между деталями узла (рис. 2.1) и их геометрическими контурами, отражающими механические и размерные связи в направлении OZ

2.2.17. Иерархические отношения между элементами описываются графами — деревьями иерархической структуры.

2.2.18. Множество C элементов булевой матрицы или дуг графа рассматривается как объект с составом контуров $F(C)$. Между элементами и контурами $F(C)$ также возможны бинарные отношения, которые группируются в подмножества $R^S(C)$, $R^S(c_i)$, $R^S(F(c))$, $R^S(F_j(C)$, $R^S(C, F(C))$, $R^S(F(c_i))$, $R^S(F_j(c_i))$, входящие в R^S.

2.2.20. Над множествами и графами бинарных отношений могут выполняться операции, принятые в теории множеств и теории графов. Операции над графами связаны либо с изменением формы их представления, либо с изменением структуры графов. При выполнении операций, связанных с изменением структуры графов, должны быть заданы условия существования вершин и дуг рассматриваемых графов. К операции такого типа относятся, в частности, операции над множествами вершин и дуг исходных графов $G_i=(A_i, C_i)$ и $G_j=(A_j, C_j)$:

$$\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} C_i \cup C_j & C_i \cap C_j & C_i \setminus C_j \end{array} \\ \left[\begin{array}{c|c|c} G_i \cup G_j & G_i \underset{A\,C}{\cup\cap} G_j & G_i \underset{A\,C}{\cup\setminus} G_j \\ \hline G_i \underset{A\,C}{\cap\cup} G_j & G_i \cap G_i & G_i \underset{A\,C}{\cap\setminus} G_j \\ \hline G_i \underset{A\,C}{\setminus\cup} G_j & G_i \underset{A\,C}{\setminus\cap} G_j & G_i \setminus G_j \end{array}\right] \begin{array}{l} A_i \cup A_j \\ A_i \cap A_j \\ A_i \setminus A_j \end{array} \end{array} . \qquad (2.8)$$

2.2.21. Наиболее общей является операция $G_i \perp G_j$ перестройки графа $G_i=(A_i, C_i)$ в граф $G_j=(A_j, C_j)$ и наоборот, определяемая отношениями $R_k^S(A)$ и $R_k^S(C)$ между вершинами и дугами этих графов. Составы вершин и дуг графов G_i, G_j и отношения $R_k^S(A)$ при перестройке $G_i \perp G_j$ описываются булевой матрицей:

$$[(A_i,A_j)\times(A_i,A_j)]=\left[\begin{array}{c|c} \begin{array}{c} A_i \\ [A_i\times A_i] \end{array} & \begin{array}{c} A_j \\ [A_i\times A_j] \end{array} \\ \hline [\overline{A}_j\times\overline{A}_i] & [\overline{A}_j\times\overline{A}_j] \end{array}\right]\begin{array}{l} A_i \\ A_j \end{array} , \qquad (2.9)$$

в которой блоки $[A_i\times A_i]$ и $[A_j\times A_j]$ характеризуют сами графы G_i, G_j, а блоки $[A_i\times A_j]$ и $[A_j\times A_i]$ — бинарные отношения между вершинами G_i и G_j. Аналогично описываются бинарные отношения $R_k^S(C)$ между дугами перестраиваемых графов:

$$(C_i,C_j)\times(C_i,C_j)=\left[\begin{array}{c|c} \begin{array}{c} C_i \\ [C_i\times C_i] \end{array} & \begin{array}{c} C_j \\ [C_i\times C_j] \end{array} \\ \hline [\overline{C}_j\times\overline{C}_i] & [\overline{C}_j\times\overline{C}_j] \end{array}\right]\begin{array}{l} C_i \\ C_j \end{array} . \qquad (2.10)$$

Операция перестройки может выполняться над несколькими графами одновременно; примерами таких операций являются операции расчленения и сочленения графов.

2.2.30. На логическом уровне все объекты, их элементы и контуры рассматриваются как логические величины. Переход от теоретико-множественных величин к логическим и обратно определяется межуровневыми отношениями. Так, например, контур F_i часто оказывается удобным определять через множество M_i параметров этого контура, имеющих определенные числовые величины. Очевидно, требуемое качество контура F_i будет обеспечено при условии

$$\forall m_j \in M_i \ (\omega_j \subseteq \Delta_j), \tag{2.11}$$

где ω_j — поле рассеяния погрешностей параметра m_j, а Δ_j — поле допуска на погрешности параметра m_j.

Использование отношения (2.11) позволяет представить контур F_i на логическом уровне в виде логической переменной

$$F_{\bar{i}} = \begin{cases} 1, \text{ если } \forall m_j \in M_i \ (\omega_j \subseteq \Delta_j), \\ 0, \text{ если } \exists m_j \in M_i \ (\omega_j \setminus \Delta_j \neq \varnothing). \end{cases} \tag{2.12}$$

В случае $F_i = 1$ говорят, что контур F_i реализован (существует), а в случае $F_i = 0$ — контур F_i не реализован (не существует). Отношение (2.12) является примером межуровневого отношения R^{SL} между контуром F_i и его параметрами $m_j \in M_i$.

2.2.40. Каждому множеству, булевой матрице или графу соответствуют наборы логических отношений $R_k^L \in R^L$ между входящими в них элементами, представленными в виде логических переменных.

2.2.41. Множеству A соответствуют логические отношения вида $R_k^L(A)$

$$A = R_k^L(a_1, a_2, \ldots, a_n) \tag{2.13}$$

между объектом A и его элементами. Одним из наиболее часто используемых при проектировании отношений такого вида является отношение $R_k^L(A)$, определяющее возможность вхождения $a_i \in A$ в подмножество $A_k \subseteq A$ элементов, обладающих заданными свойствами.

2.2.42. Между $a_i \in A$ и другими элементами A могут существовать логические отношения $R_k^L(a_i)$

$$a_i = R_k^L(a_{i_1}, a_{i_2}, \ldots, a_{i_{n-1}}). \tag{2.14}$$

Примерами отношений этого вида являются логические условия существования a_i при наличии или отсутствии других элементов A.

2.2.43. Множеству контуров соответствуют логические отношения $R_k^L(F(A))$ и $R_k^L(F_j(A))$ между контурами объекта

$$F(A) = R_k^L(F_1, F_2, \ldots, F_m), \tag{2.15}$$

$$F_j(A) = R_k^L(F_{j_1}, F_{j_2}, \ldots, F_{j_{m-1}}) \tag{2.16}$$

и отношения вида $R_k^L(F(a_i))$ и $R_k^L(F_j(a_i))$

$$F(a_i)=R_k^L(F_1(a_i),F_2(a_i),\ldots,F_m(a_i)), \quad (2.17)$$

$$F_j(a_i)=R_k^L(F_{j_1}(a_i),F_{j_2}(a_i),\ldots,F_{j_{m-1}}(a_i)) \quad (2.18)$$

между контурами элемента a_i.

2.2.44. Матрицам бинарных отношений соответствуют логические отношения между множествами элементов строк и столбцов этих матриц, образующие подмножества $R^L(C)$, $R^L(C_i)$, $R^L(F(C))$, $R^L(F_j(C))$, $R^L(C, F(C))$, $R^L(F(c_i))$, $R^L(F_j(c_i))$. Каждой строке или столбцу булевой матрицы соответствует определенное подмножество элементов множества, входящего в декартово произведение; этим подмножествам соответствуют логические отношения, приводимые к виду (2.13)—(2.18).

2.2.45. Для столбцов матрицы (2.3) отношения (2.16) имеют специфический вид:

$$F_j(A)=R_k^L(F_j(a_1),F_j(a_2),\ldots,F_j(a_n)), \quad (2.19)$$

определяющий логическую связь между истинностным значением контура $F_j(A)$ объекта A в целом, и контурами $F_j(a_i)$ его элементов в случае, когда контуры $F_j(a_i)$ являются составными частями $F_j(A)$.

2.2.50. При моделировании объекта на количественном уровне каждому элементу множества булевой матрицы или логической переменной соответствует алгебраическая или другая количественная величина либо — при конкретных вычислениях — числовая величина. При этом множества и булевы матрицы превращаются в одномерные и двухмерные массивы числовых величин, а логические отношения переходят в количественные отношения путем замены сентенциональных связок знаками сложения, вычитания, умножения и т. п.

2.2.51. Количественные отношения образуют множество R^N. Логические отношения из $R^L(F(A))$ и $R^L(F_j(A))$ переходят в количественные отношения $R^N(F(A))$ и $R^N(F_j(A))$

$$F(A)=R_k^N(F_1,F_2,\ldots,F_m), \quad (2.20)$$

$$F_j(A)=R_k^N(F_{j_1},F_{j_2},\ldots,F_{j_{m-1}}), \quad (2.21)$$

а из $R^L(F(a_i))$ и $R^L(F_j(a_i))$ — в отношения $R^N(F(a_i))$ и $R^N(F_j(a_i))$:

$$F(a_i)=R_k^N(F_1,F_2,\ldots,F_m), \quad (2.22)$$

$$F_j(a_i)=R_k^N(F_{j_1},F_{j_2},\ldots,F_{j_{m-1}}). \quad (2.23)$$

2.2.52. Все другие количественные отношения между элементами и контурами объекта аналогичны указанным выше четырем видам отношений. Так, при переходе от логического отношения $R^L(A)$ — см. (2.13) — к описанию количественного отношения $R^N(A)$ между объектом A и его элементами необходима замена логических переменных a^L количественными величинами; каж-

дая такая количественная величина a_i^N может быть истолкована как некоторый контур $F_j(a_i)$, поэтому (2.13) перейдет в логическое отношение, аналогичное (2.19), а затем в количественное отношение

$$F_j(A)=R_k^N(F_j(a_1),F_j(a_2),\ldots,F_j(a_m)), \qquad (2.24)$$

поскольку оно отражает количественную зависимость между контуром объекта в целом и контурами элементов этого объекта. По этой же причине логическое отношение (2.14) переходит в количественное отношение

$$F_j(a_i)=R_k^N(F_j(a_{i_1}),F_j(a_{i_2}),\ldots,F_j(a_{i_{n-1}})). \qquad (2.25)$$

Регламентация способов описания переходов одних величин в другие позволяет установить взаимосвязь описаний различных структурных, логических и количественных свойств и отношений при моделировании одного и того же объекта в системе ИСТРА.

2.3. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ И КОНТУРАМИ ОБЪЕКТОВ

2.3.10. Элементы реальной системы, будучи материальными объектами, обладают разнородными, органически взаимосвязанными друг с другом свойствами. Эти связи различаются по их роли в назначении и функционировании объекта, по природе, по уровню абстрагирования при математическом моделировании объекта и т. д. Основными связями являются структурные и причинно-следственные связи, характеризующие взаимосвязь объектов при абстрагировании от природы действующих факторов, а с учетом этих факторов — функциональные, вещественные, энергетические, пространственные и информационные связи.

2.3.20. Структурные связи обусловлены отношениями принадлежности объектов, их элементов и свойств к определенным множествам, отношениями иерархической подчиненности, а также отношениями инцидентности, смежности и порядка.

2.3.21. Причинно-следственные связи отражают последовательности изменения состояний объекта с учетом состояния других, не обязательно смежных с ним объектов.

2.3.30. Любая совокупность объектов (элементов), представляющая собой нечто единое целое в технической системе, имеет определенное целевое назначение. Обозначим состав контуров множества A, связанных с его целевым назначением, как множество $F(A)$. Тогда отношение принадлежности $a_k \in A$ имеет вид:

$$a_k \in A, \text{ если } F(a_k)\cap F(A)=F(a_k)_0, \qquad (2.26)$$

где $F(a_k)_0$ — требуемый состав контуров, обусловленных целевым назначением a_k.

2.3.31. Для описания отношений принадлежности на логическом уровне вводится единое булево векторное пространство контуров такое, что $\forall A_i\,(F(A_i)\subseteq \mathbf{F})$.

Варажая составы контуров a_k и A как булевы векторы $F(a_k)$, $F(a_k)_0$ и $F(A)$ в пространстве контуров F, получим:

$$a_k \in A, \text{ если } F(a_k)_0 \wedge F(A)=1. \tag{2.27}$$

2.3.32. При учете влияния других элементов A на возможность вхождения a_k в составе A рассматриваются следующие группы элементов A:

$B_i(a_k)$ — подмножество элементов, только при наличии которых a_k может войти в состав A;

$W_j(a_k)$ — подмножество элементов, при наличии которых вхождение a_k в A невозможно.

Условия вхождения a_k в A с учетом влияния других элементов A имеют вид:

$$a_k \in A, \text{ если } \exists B_i(a_k)(B_i(a_k) \subseteq A); \tag{2.28}$$

$$a_k \in A, \text{ если } \forall W_j(a_k(W_j(a_k) \notin A). \tag{2.29}$$

2.3.33. На логическом уровне все составы $B_i(a_k)$ и $W_j(a_k)$ могут быть представлены как логические отношения (2.14); в этих уравнениях наборы $B_i(a_k)$ и $W_j(a_k)$ представляются как группы элементов $a_{k_i} \in A$, связанных конъюнкцией. Поэтому на логическом уровне условия (2.28)—(2.29) принимают вид:

$$a_k \in A, \text{ если } B_i(a_k)=1; \tag{2.30}$$

$$a_k \in A, \text{ если } W_j(a_k)=0. \tag{2.31}$$

2.3.34. Отношения иерархической подчиненности описываются аналогичными способами; при этом объект более высокого иерархического уровня представляется как A, а непосредственно подчиненный ему объект как a_k.

2.3.35. Отношения инцидентности и смежности элементов описываются на теоретико-множественном уровне с помощью матриц бинарных отношений или графов.

2.3.36. Отношение порядка между элементами объекта на теоретико-множественном уровне задается через описание условий, при которых выполняется это отношение. Так, множество A элементов объекта будет упорядоченным, если выполняются условия:

$$\forall a_k \in [\exists B_i(a_k)(B_i(a_k) \subseteq A_k^0)], \tag{2.32}$$

$$\forall a_k \in A[\forall W(a_k)(W_j(a_k) \notin A_k^0]; \tag{2.33}$$

здесь $B_i(a_k)$ — подмножество элементов, при наличии которых возможно существование a_k на данном месте в упорядоченном множестве A; $W_j(a_k)$—подмножество элементов, при наличии которых существование a_k на данном месте невозможно; A_k^0 — подмножество элементов, предшествующих a_k в упорядоченном множестве A.

2.3.37. На логическом уровне условия (2.32)—(2.33) переходят в условия

$$a_z \in A(B(a_k)=1), \tag{2.34}$$

$$a_k \equiv A(W(a_k)=0). \tag{2.35}$$

В уравнениях $B(a_k)$ и $W(a_k)$ логические переменные $a_l=1$, если $a_l \in A_k^0$ и $a_l=0$ — в противном случае.

2.3.38. Аналогично описываются условия упорядоченности множества $F(A)$ контуров: на теоретико-множественном уровне

$$\forall F_k \in F(A)[\exists B_i(F_k)(B_i(F_k) \subseteq F(A_k^0))], \tag{2.36}$$

$$\forall F_k \in F(A)[\forall W_j(F_k)(W_j(F_k) \notin F(A_k^0))]; \tag{2.37}$$

на логическом уровне

$$\forall F_k \in F(A)(B(F_k)=1), \tag{2.38}$$

$$\forall F_k \in F(A)(W(F_k)=0). \tag{2.39}$$

В этих формулах $F(A_k^0)$ — подмножество контуров, предшествующих F_k в упорядоченном множестве $F_k(A)$.

2.3.40. Функциональные связи определяют взаимосвязь между элементами и свойствами объекта, обусловленную выполняемыми функциями на данном этапе жизненного цикла объекта. Все функции и свойства объекта описываются через понятие контура. На количественном уровне контур F_i характеризуется множеством параметров, имеющих определенные числовые величины. На логическом уровне контур F_l представляется в виде логической переменной $F_l=1$ или $F_l=0$ (2.12). Если $F_l=1$, то говорят, что контур F_l реализован или существует.

2.3.41. Взаимосвязь контуров $F(A)$ по условиям их существования на теоретико-множественном уровне в системе моделирования описывается матрицей (2.2), где

$$c_{i(j)} = \begin{cases} 1, \text{ если } F_i \text{ влияет на существование } F_j, \\ 0, \text{—в противном случае.} \end{cases}$$

Следовательно, если существование F_j зависит только от F_i, то

$$F_j = F_i \wedge c_{i(j)}. \tag{2.40}$$

2.3.42. Если существование F_j зависит от нескольких контуров, то эта связь описывается на логическом уровне отношениями (2.21), соответствующими j-му столбцу матрицы (2.2); с учетом (2.40) отношение (2.21) принимает вид

$$F_j(A) = R_k^L((F_1 \wedge c_{1(j)}),(F_2 \wedge c_{2(j)}),\ldots,(F_m \wedge c_{m(j)})). \tag{2.41}$$

Если состав контуров в правой части (2.41) заранее известен, элементы $c_{i(j)}$ могут быть опущены.

2.3.43. Аналогично описывается взаимосвязь по условиям существования контуров различных объектов или их элементов. Влияние условий существования контуров $F(a_l)$ на $F_j(A)$ записывается в виде отношения (2.18), соответствующего j-му столбцу матрицы (2.3); с учетом (2.40) это отношение имеет вид

$$F_j(A)=R_k^L([F_j(a_1)\wedge c_{1(j)}),(F_j(a_2)\wedge c_{2(j)},\ldots,(F_j(a_n)\wedge c_{n(j)})). \quad (2.42)$$

Контуры $F(a_i)$ выступают здесь как контуры низшего порядка по отношению к $F_j(A)$ в иерархической структуре контуров объекта. Характер взаимосвязи контура F_j высшего порядка с набором контуров $\{F_{j_1}, F_{j_2}, \ldots, F_{j_m}\}$ низшего порядка различен для аддитивных и неаддитивных контуров.

2.3.44. Если контуры аддитивны, то

$$F_j=\bigwedge_{k=1}^{n} F_{j_k}, \quad (2.43)$$

$$m_j=\sum_{k=1}^{n} m_{j_k}, \quad (2.44)$$

где m_j и m_{j_k} — числовые величины параметров F_j и $F_{j_k} \in F_j$. К аддитивным относятся контуры массы, объема материала, трудоемкости этапов производства и т. п.

2.3.45. Если контуры не обладают свойствами аддитивности, то каждый контур F_{j_k} представляется состоящим из двух частей — из персонального контура $F_{j_k}^P$, характеризующего F_{j_k} как отдельный объект, рассматриваемый независимо от других контуров, и унитарного контура $F_{j_k}^U$, характеризующего свойства F_{j_k}, отличные от $F_{j_k}^P$, в случае, когда F_{j_k} является частью контура высшего порядка:

$$F_{j_k}=F_{j_k}^P\wedge F_{j_k}^U. \quad (2.45)$$

Поэтому для неаддитивных контуров вместо (2.43) имеет место отношение

$$F_j=\bigwedge_{k=1}^{m}(F_{j_k}^P\wedge F_{j_k}^U), \quad (2.46)$$

а вместо (2.44) — отношение более сложное, чем сумма величин m_{j_k}. К неаддитивным относятся, например, контуры центровки, моментов инерции, геометрические контуры объектов.

2.3.46. В геометрическом контуре F_j персональный контур F_j^P называется контуром формы объекта в собственной системе координат F_j, а унитарный контур F_j^U — контуром положения F_j относительно системы координат высшего порядка.

2.3.50. Функциональные связи между элементами A определяются через функциональные связи между их контурами. При этом контур $F_j(A)$ рассматривается как абстрактный контур, а состав элементов

$$F_j(A)=\{a_{j_1},a_{j_2},\ldots,a_{j_k}\}\subseteq A, \quad (2.47)$$

свойства (контуры) которых влияют на существование $F_j(A)$, рассматривается как тело абстрактного контура $F_j(A)$. Элемен-

ты $a_j \in \mathrm{F}_j(A)$ называются звеньями тела контура; при этом звенья, соответствующие строкам матрицы (2.3), в которых $c_{i(j)}=1$, называются исполнительными звеньями, а звенья, определяемые через элементы $c_{i(j)}=1$ j-го столбца матрицы (2.2), называются внутренними звеньями тела контура $\mathrm{F}_j(A)$.

2.3.51. Применительно к конструкции изделия тело $\mathrm{F}_j(A)$ называют конструктивным телом, или конструктивным контуром абстрактного контура $F_j(A)$. Если $F_j(A)$ — геометрический контур, то тело $\mathrm{F}_j(A)$ представляет собой совокупность элементов конструкции, поверхности которых входят в контур $F_j(A)$, и элементов конструкции, свойства которых влияют на свойства геометрического контура $F_j(A)$. Части элементов конструкции, поверхности которых входят в состав поверхностей $F_j(A)$, будут исполнительными звеньями, а все остальные — внутренними звеньями $F_j(A)$.

2.3.52. Контуры объекта разделяются на основные, непосредственно определяющие заданные функции объекта A, и вспомогательные, обеспечивающие существование основных контуров при конкретном исполнении объекта. В соответствии с этим элементы A также разделяются на основные и вспомогательные.

2.3.60. По виду логических связей, определяющих влияние звеньев тела $\mathrm{F}_j(A)$ на условие существования контура $F_j(A)$, контуры и их тела разделяются на конъюнктивные и дизъюнктивные.

2.3.61. Если тело (2.47) контура состоит из k звеньев, то контур $F_j(A)$ будет реализован только при наличии всех этих звеньев — элементов $\mathrm{F}_j(A)$. В таком случае принимается

$$\mathrm{A}a_i \in F_j(A)(F(a_i) \supset F_j = F_j(a_i)),$$

и зависимость условия существования контура $F_j(A)$ от звеньев $\mathrm{F}_j(A)$ описывается отношением

$$F_j(A) = F_j(a_{i_1}) \wedge F_j(a_{i_2}) \wedge \ldots \wedge F_j(a_{i_k}). \qquad (2.48)$$

Здесь $F_j(a_{j_i})=1$, если для данного контура выполняется условие (2.12); очевидно, при этом $a_{j_i} \in \mathrm{F}_j(A)$. Такая связь между $F_j(A)$ и элементами тела $F_j(A)$ называется конъюнктивной; матрица (2.3) контуров объекта A в этом случае также называется конъюнктивной. Примером конъюнктивной матрицы является матрица (рис. 2.4, *б*) контуров соединений деталей узла.

2.3.62. Если тело (2.47) контура состоит из единственного элемента $a_i \in \mathrm{F}_j(A)$, то

$$F_j(A) = F_j(a_i), \qquad (2.49)$$

и связь между $F_j(A)$ и элементом $a_i \in \mathrm{F}_j(A)$ называется дизъюнктивной. Если для всех контуров $F(A)$ выполняется отношение (2.49), матрица (2.3) контуров объекта A называется дизъюнктивной.

2.3.70. Если все контуры $F(A)$ реализованы, то говорят, что объект A также реализован или существует. На логическом уровне описания условие существования A имеет вид $A=1$, если

$$F(A)=(\bigwedge_{i}^{m-n} F_i) \wedge (\bigwedge_{j}^{n}(F_j^P \wedge F_j^U))=1. \qquad (2.50)$$

Аналогично определяется условие существование элементов $a_k \in A$:

$a_k=1$, если $$F(a_k)=(\bigwedge_{i}^{m-n} F_i) \wedge (\bigwedge_{j}^{n}(F_j^P \wedge F_j^U))=1. \qquad (2.51)$$

2.3.71. Исходя из функциональной связи контуров объекта A, можно определить условие его существования в виде отношения (2.13) в зависимости от существования элементов $a_k \in A$:

$$A=a_1 \wedge a_2 \wedge \ldots \wedge a_n. \qquad (2.52)$$

В этом уравнении $a_k=1$, если выполняется условие (2.51), и $a_k=0$ в противном случае.

2.3.80. Вещественные связи обусловлены физическими и химическими свойствами и отношениями между ними в процессе функционирования объекта, энергетические связи характеризуют энергетическую сторону функционирования объекта. Пространственная взаимосвязь элементов объекта характеризует их взаимное расположение, наличие механических связей и характер возможных движений относительно один другого или какой-либо системы отсчета. Информационные связи отражают информационные аспекты функционирования объекта.

3. ТИПОВЫЕ СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ

3.1. ТИПОВЫЕ СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ ПОРОЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3.1.10. Для построения структурных моделей объекта проектирования вначале устанавливается состав свойств (контуров), по которым могут быть выделены элементы проектируемого объекта. Состав этих свойств определяется в первую очередь целевым назначением объекта и функциями, обеспечивающими выполнение целевого назначения. Далее выявляется природа отношений, связывающих элементы и их контуры (геометрические, механические и т. п. связи). На основе такого анализа определяется возможный состав элементов проектируемого объекта и строится модель порождающей среды, в которой будет осуществляться синтез этого объекта. Порождающая среда включает данные о предметной области, к которой относится объект, о существующих и разрабатываемых структурных моделях объекта, известные или прогнозируемые отношения и связи между элементами и свойствами объекта и внешней среды. На базе этих данных создается математическая модель, охватывающая ту информацию о порождающей

среде, которая может быть формализована и представлена средствами системы моделирования.

3.1.11. Математической моделью $S(A)$ объекта A в общем случае будет тройка элементов:

$$S(A)=\{A,F,R\},$$

где A — множество элементов; F — множество контуров и R — множество отношений. В этой модели A есть отображение элементов объекта **А**, F — отображение контуров F и R — отображение отношений между элементами и контурами объекта **А**.

3.1.12. В состав контуров модели входят, наряду со свойствами элементов объекта, свойства, характеризующие взаимодействие объекта с внешней средой:

$F_{вх}$ — входные данные; $F_{вых}$ — выходные данные; $F_{упр}$ — управляющие воздействия; $F_{воз}$ — возмущающие воздействия.

Некоторые элементы модели $S(A)$ в конкретных случаях могут быть представлены в неявном виде или вообще отсутствовать. В последнем случае отсутствующий элемент модели представляется как пустое множество, например — $A=\varnothing$ или $F_{вх}=\varnothing$, $F_{упр}=\varnothing$, $F_{воз}=\varnothing$.

3.1.13. Модель $S(A)$ порождающей среды служит для проектирования объектов A_k с составом элементов $A_k \subseteq A$. Одна модель $S(A)$ порождающей среды содержит данные о множестве $A=\{A_1, A_2, ..., A_N\}$ проектируемых объектов. Построение такой модели основано на свойствах эквивалентности элементов a_i, $a_j \in A$, входящих в различные объекты $A_{k'}$, $A_{k''}$. При описании объектов A_k на различных уровнях абстрагирования и при разной полноте описания некоторые их элементы могут оказаться эквивалентными.

3.1.14. На теоретико-множественном уровне, если учитываются только составы контуров a_i, $a_j \in A$, элемент a_i эквивалентен a_j — обозначается $a_i \equiv a_j$ при условии

$$F(a_i)=F(a_j); \tag{3.1}$$

если учитываются и бинарные отношения между контурами, то $a_i \equiv a_j$ при условии

$$R_k^S(F(a_i))\equiv R_k^S(F(a_j)), \tag{3.2}$$

т. е. когда эквивалентны матрицы заданного бинарного отношения. Эквивалентность элементов может устанавливаться и на основании эквивалентности бинарных отношений для определенного контура, например: $a_i \equiv a_j$ при условии

$$R_k^S(F_i(a_i))\equiv R_k^S(F_i(a_j)). \tag{3.3}$$

Если учитываются бинарные отношения между самими элементами A, то $a_i \equiv a_j$ при условии

$$R_k^S(a_i)\equiv R_k^S(a_j). \tag{3.4}$$

3.1.15. На логическом уровне, если учитываются только отношения (2.14), $a_i \equiv a_j$ при условии

$$R_k^L(a_i) \equiv R_k^L(a_j). \tag{3.5}$$

Если учитываются логические отношения (2.17) между контурами элементов, то $a_i \equiv a_j$ при условии

$$R_k^L(F(a_i)) \equiv R_k^L(F(a_j)), \tag{3.6}$$

а если учитываются только отношения (2.18) между F_i и другими контурами элемента, то $a_i \equiv a_j$ при условии

$$R_k^L(F(a_i)) \equiv R_k^L(F_i(a_j)). \tag{3.7}$$

3.1.16. На количественном уровне элементы a_i и a_j эквивалентны при условии

$$R_k^N(F(a_i)) = R_k^N(F(a_j)), \tag{3.8}$$

а если учитываются количественные отношения только для некоторого контура F_i, то $a_i \equiv a_j$ при условии

$$R_k^N(F_i(a_i)) = R_k^N(F_i(a_j)). \tag{3.9}$$

Если $a_i \equiv a_j$ и численные значения количественных величин в R_R^N одинаковы, то $a_i = a_j$.

3.1.17. Как правило, степень эквивалентности элементов возрастает по мере повышения уровня абстрагирования в их описании. Так, детали (рис. 3.1, *а, б*) не эквивалентны на уровне количественных отношений, но эквивалентны по условию вида (3.1) — по составу обрабатываемых поверхностей — и (3.2) — по отношению смежности этих поверхностей; детали (рис. 3.1, *в, г*) также эквивалентны по условию (3.1), но не эквивалентны по условию (3.2), поскольку графы смежности поверхностей (рис. 3.1, *д, е*) не эквивалентны.

3.1.18. Условия эквивалентности элементов вида (3.2)—(3.9) могут быть заданы как по отдельным теоретико-множественным, логическим и количественным отношениям, так и по любым наборам R^S, R^L и R^N. Эквивалентность элементов объекта A может быть установлена и на основании анализа свойств дуг в графе $G = (A, C)$.

3.1.20. При решении разных задач требуемый состав и полнота представления исходных данных и данных в проектном решении могут быть весьма различными. В этих случаях применяются частные, или расчетные модели проектирования, включающие минимум данных, необходимых и достаточных для решения конкретной задачи с учетом требуемой точности решения. При разработке расчетной модели рассматриваются только свойства, существенно влияющие на решение конкретной задачи. Различают расчетные модели контуров и расчетные модели элементов объекта проектирования.

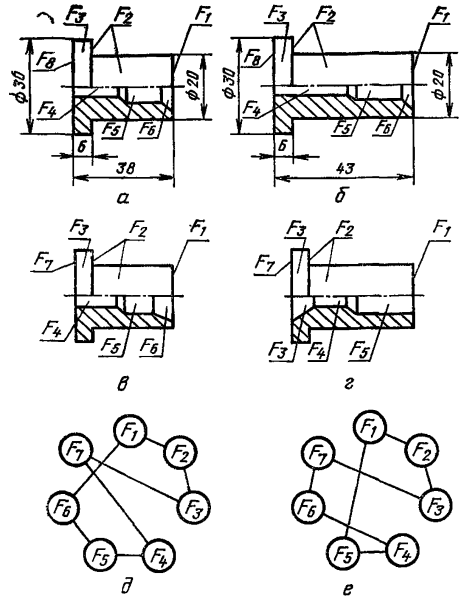


Рис. 3.1 (*а—е*). Эквивалентность деталей

3.1.21. При разработке расчетной модели контуров объекта a_i для каждого контура $F_j \in F(a_i)$ выявляется состав контуров низшего порядка $F'(F_j)$, характеризующих свойства этого контура. Затем определяется набор контуров

$$F'(a_i) = \bigcup_{j}^{m} F'(F_j) \tag{3.10}$$

и строится матрица свойств контуров объекта:

$$\| c_{i(j)} \|_{F(a_i),F'(a_i)} = [F(a_i) \times F'(a_i)]. \tag{3.11}$$

3.1.22. Состав контуров расчетной модели равен $F_M(a_i) \subseteq F(a_i)$, а состав свойств контуров расчетной модели равен $F'_M(a_i) \subseteq F'(a_i)$. Поэтому для контуров $F'_j \in F'(a_i)$ на теоретико-множественном, логическом или количественном уровне формируются условия вхождения F'_j в $F_j \in F_M(a_i)$. Строки матрицы (3.11), не удовлетворяющие этим условиям, вычеркиваются, а строки, соответствующие эквивалентным контурам, заменяются одной строкой. Оставшиеся строки матрицы (3.11) будут соответствовать составу контуров $F_M(a_i)$ расчетной модели, а матрица

$$\| c_{i(j)} \|_{F_M(a_i),F'_M(a_i)} = [F_M(a_i) \times F'_M(a_i)] \tag{3.12}$$

будет матрицей свойств контуров модели объекта a_i.

3.1.23. При разработке расчетной модели элементов объекта вначале разрабатывается расчетная модель его контуров и строится матрица контуров

$$\| c_{i(j)} \|_{A.F_M(A)} = [A \times F_M(A)]. \qquad (3.13)$$

3.1.24. Поскольку $F_M(A) \subseteq F(A)$, в матрице (3.13) могут быть строки с составом контуров $F_M(a_i) = \varnothing$ — эти строки вычеркиваются; строки с эквивалентными составами контуров заменяются одной строкой. Оставшиеся строки матрицы (3.13) определяют состав элементов A_M расчетной модели объекта A; матрицей контуров этих элементов будет

$$\| c_{i(j)} \|_{A_M.F_M(A)} = [A_M \times F_M(A)]. \qquad (3.14)$$

3.1.25. При разработке расчетной модели элементов объекта учитываются не только отношения между контурами, но и отношения между самими элементами объекта.

3.1.30. Особенно важное значение при автоматизированном проектировании имеют модели, отражающие структуру объектов проектирования. Каждая такая модель $S(A)$ содержит состав A элементов, входящих в проектируемые объекты A_k, матрицы контуров (2.3) или (2.4) — (2.6), теоретико-множественные, логические и количественные отношения между элементами и контурами A, определяющие состав и все свойства проектируемых объектов A_k.

3.1.31. Модели порождающей среды классифицируются в зависимости от способа задания отношений смежности и порядка между элементами модели $S(A)$, отношений смежности и порядка элементов проектируемого объекта A_k, а также состава и количества элементов в различных вариантах A_k.

3.1.32. Если отношение смежности между элементами модели задано в виде графа $G=(A, C)$, то модель будет связанной, а если граф $G=(A, C)$ не задан, то модель будет несвязанной. Контуры элементов связанных моделей описываются матрицами (2.3), а контуры элементов несвязанных моделей — набором матриц (2.4) — (2.6). При проектировании объекта A_k по связанной модели порождающей среды граф $G_k=(A_k, C_k)$, характеризующий структуру A_k, является частью графа $G=(A, C)$ структуры модели $S(A)$. При проектировании по несвязанной модели, в которой отсутствует граф $G=(A, C)$, граф структуры A_k определяется на основании анализа отношений между элементами A_k и их контурами с использованием матриц (2.4)—(2.6).

3.1.40. В зависимости от наличия отношений смежности и порядка между элементами проектируемого объекта A_k все модели порождающей среды разделяются на сочетательные и упорядочивающие. Сочетательные модели $S(A)$ применяются в тех случаях, когда определяется только состав элементов проектируемого объекта, а упорядочивающие модели $S_i(A)$ — когда определяется и состав, и структурные отношения между элементами проектируемого объекта.

2.4.41. Свойства самих моделей, влияющие на содержание процесса проектирования, характеризуются набором контуров $F(S)=\{F_a, F_{n_a}, F_\lambda, F_G\}$. Контур $F_G=1$, если все графы $G_k=(A_k, C_k)$ объектов A_k, проектируемых по данной модели, суть простые элементарные пути или цепи, и $F_G=0$ в противном случае; $F_{n_a}=1$, если число элементов во всех вариантах A_k одинаково; $F_\lambda=1$, если отношение порядка между любыми $a_i, a_j \in A$ во всех вариантах A_k одинаково; $F_a=1$, если состав элементов во всех вариантах A_k одинаков.

3.1.50. Классы сочетательных моделей $S_i^0(A)$ зависят от состава контуров $F(S^0)=\{F_a, F_{n_a}\}$ и определяются строками булевой матрицы:

$$[S^0 \times F(S^0)]=\begin{bmatrix} F_a & F_{n_a} \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} S_1^0 \\ S_2^0 \\ S_3^0 \end{matrix}. \qquad (3.15)$$

3.1.51. По модели S_1^0 можно выбрать единственный объект A_k с заданным набором контуров $F(A_k)$; модель S_2^0 может содержать различные варианты A_k с одинаковым количеством, но разным составом элементов. Модель S_3^0 может содержать варианты A_k, различающиеся и количеством, и составом входящих элементов.

3.1.60. Классы упорядочивающих моделей $S(A)$ определяются строками булевой матрицы:

$$[S \times F(S)]=\begin{array}{c} \begin{matrix} F_a & F_{n_a} & F_\lambda & F_G \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \end{matrix}. \qquad (3.16)$$

3.1.61. Модели класса S_1 называются табличными. Примерами табличных моделей являются модели (рис. 3.2) операторов изготовления деталей (рис. 2.3). В табличной модели каждому заданному набору контуров $F(A_k)$ соответствует единственный вариант проектируемого объекта A_k. Поэтому табличные модели

используются для поиска стандартных или готовых проектных решений. Модели остальных классов используются для получения унифицированных и индивидуальных проектных решений при наличии их вариантов и необходимости оптимизации решения.

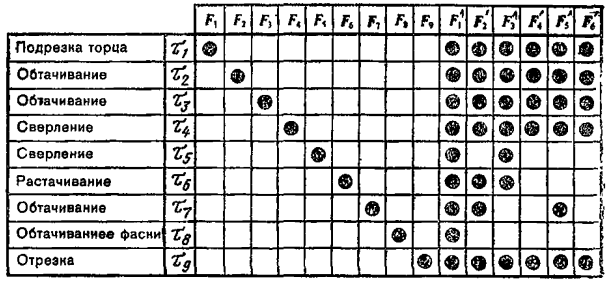


Рис. 3.2. Табличные модели операторов изготовления группы деталей:
а—дизъюнктивная модель; *б*—конъюнктивная модель

3.1.62. Модели классов S_2, S_3, S_7, S_8, S_9 называются сетевыми. Структура элементов сетевой модели описывается ориентированным графом $G=(A, C)$, не имеющим ориентированных циклов. В сетевых моделях может содержаться несколько вариантов проектируемого объекта A_k, но во всех вариантах A_k сохраняется неизменным отношение порядка между входящими элементами.

3.1.63. По моделям классов S_2, S_3 проектируются объекты A_k, граф $G_k=(A_k, C_k)$ которых представляет собой простой элементарный путь или цепь. Примером сетевой модели класса S_3 является модель производственной системы (рис. 3.3) для образования отверстий под болты.

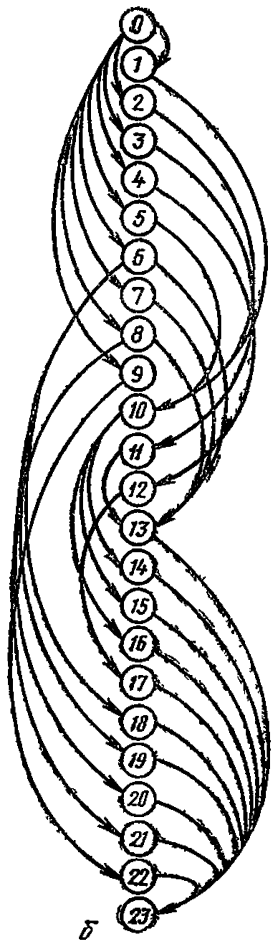
3.1.64. Сетевые модели классов S_7, S_8, и S_9 применяются при проектировании объектов A_k, у которых граф $G=(A, C)$ имеет структуру более сложную, чем простой элементарный путь или цепь.

3.1.65. Модели классов S_4, S_5, S_6, S_{10}, S_{11}, S_{12} называют перестановочными. Отношение порядка между элементами проектируемого объекта A_k в перестановочной модели задается либо графом $G=(A, C)$, содержащим ориентированные циклы, либо с помощью наборов отношений вида (2.32)—(2.35). Все варианты A_k, проектируемые по перестановочной модели, различаются порядком между входящими в них элементами.

3.1.70. Объекты, проектируемые по упорядочивающим моделям, могут существенно различаться и характером смежности элементов, поэтому такие классы моделей в некоторых случаях должны быть детализированы по описанию особенностей отношений смежности. Для этого в состав контуров $F(S)$ модели вводятся дополнительные контуры F_c и F_{n_c} : $F_c=1$, если состав дуг графа

		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
Исходный оператор	τ_0	●	●	●	●	●	●
Сверление	τ_1	●	●				
Рассверливание	τ_2	●	●				
Развертывание	τ_3	●	●	●			
Протягивание	τ_4	●	●	●			
Снятие фаски	τ_5	●	●				
Установка болта	τ_6	●	●		●		
Установка шайбы	τ_7					●	
Установка гайки	τ_8	●	●				●
Кернение	τ_9	●	●				●
Сверло	π_{10}	●	●				
Развертка	π_{11}	●	●	●			
Протяжка	π_{12}	●	●	●			
Слесарный инструмент	π_{13}	●	●	●	●	●	●
Пневмодрель СМ 21-25	π_{14}	●					
Сверл.-зенк. встраиваемое устройство СЗВУ-А 1	π_{15}	●					
Сверл.-зенк. встраиваемое устройство СЗВУ-А 2	π_{16}	●	●				
Протяжное устройство ПУ-8	π_{17}	●		●			
Пневмоинструмент для вставки болтов ПИВ-10	π_{18}	●			●		
Пневмоинструмент для вставки болтов ПИВ-16	π_{19}	●	●		●		
Пневмогайковерт ПВ 21-180	π_{20}	●					●
Пневмогайковерт РПГ 41-16	π_{21}	●	●				●
Пневмокернер КП-09 М	π_{22}	●	●				●
Конечный оператор	τ_{23}	●	●	●	●	●	●

а



б

Рис. 3.3. Сетевая модель технологической системы выполнения болтовых соединений:

а—конъюнктивная матрица контуров: F_1—отверстие $d \leqslant 8$ мм; F_2—отверстие $d \leqslant 16$ мм; F_3—отверстие седьмого квалитета; F_4—контур положения болта; F_5—контур положения шайбы; F_6—контур положения гайки; *б*—граф смежности операций и элементов технологической системы

$G_k = (A_k, C_k)$, во всех вариантах A_k одинаков, $F_{n_c} = 1$, и если одинаково количество дуг. Теперь классы моделей S_1—S_{12} определяются строками булевой матрицы

$$[S \times F(S)] = \begin{array}{c} \begin{matrix} F_a & F_{n_a} & F_\lambda & F_c & F_{n_c} & F_G \end{matrix} \\ \left\| \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{matrix} \right\| \end{array} \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_{7(1)} \\ S_{7(2)} \\ S_{7(3)} \\ S_{8(1)} \end{matrix} . \qquad (3.17)$$

$$[S\times F(S)]=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{matrix} S_{8(2)} \\ S_{9(1)} \\ S_{9(2)} \\ S_{10(1)} \\ S_{10(2)} \\ S_{11(1)} \\ S_{11(2)} \\ S_{12(1)} \\ S_{12(2)} \end{matrix} \qquad (3.17)$$

3.1.71. Структурные модели, определяемые матрицей (3.17), по-прежнему являются сетевыми или перестановочными, но различаются с учетом состава и количества дуг в графах $G_k=(A_k, C_k)$ вариантов проектируемого объекта A_k.

3.1.80. Логические отношения R^L между элементами и контурами отражают причинно-следственные связи, одновременность или очередность вхождения в определенные совокупности, связи по условиям существования и т. п.

3.1.81. Для повышения эффективности автоматизированного проектирования логические отношения между элементами и контурами модели порождающей среды и проектируемых объектов приводятся к регламентированному виду, отражающему реальные свойства этих объектов. Так, зависимость между составом элементов проектируемого объекта и порождающей среды выражается отношением (2.13) в следующем виде: если A_k должен содержать фиксированный набор элементов $a_i\in A$, то

$$A_k=a_{k_1}\wedge a_{k_2}\wedge\ldots\wedge a_{k_m}=\bigwedge_{i=1}^{m} a_{k_i}; \qquad (3.18)$$

если A_k может содержать любой элемент $a_i\in A$, то

$$A_k=a_1\vee a_2\vee\ldots\vee a_n=\bigvee_{i=1}^{n} a_i\ ; \qquad (3.19)$$

а если только какой-нибудь единственный элемент $a_i\in A$, то

$$A_k=a_1\triangledown a_2\triangledown\ldots\triangledown a_n=\bigtriangledown_{i=1}^{n} a_i\ . \qquad (3.20)$$

Если в A_k должны входить наборы из n групп элементов вида (3.19), то

$$A_k=\bigwedge_{j=1}^{n}\left(\bigvee_{i=1}^{m} a_i\right)_j, \qquad (3.21)$$

а если из n групп элементов вида (3.20), то

$$A_k=\bigwedge_{j=1}^{n}\left(\bigtriangledown_{i=1}^{m} a_i\right)_j. \qquad (3.22)$$

Если A_k может содержать любые наборы групп элементов вида (3.18), то

$$A_k = \bigvee_{j=1}^{n} \left(\bigwedge_{i=1}^{m} a_{k_i} \right)_j , \tag{3.23}$$

а если любые наборы из групп элементов вида (3.20), то

$$A_k = \bigvee_{j=1}^{n} \left(\bigtriangledown_{i=1}^{m} a_i \right)_j . \tag{3.24}$$

Если A_k может содержать только какую-либо единственную группу элементов вида (3.18), то

$$A_k = \bigtriangledown_{j=1}^{n} \left(\bigwedge_{i=1}^{m} a_{k_i} \right)_j , \tag{3.25}$$

а если только единственную группу элементов вида (3.19), то

$$A_k = \bigtriangledown_{j=1}^{n} \left(\bigvee_{i=1}^{m} a_i \right)_j . \tag{3.26}$$

3.1.82. Зависимость между составом контуров $F(A_k)$ и контурами порождающей модели выражается отношением (2.15). Эти зависимости по составу сентенциональных связок и смысловому содержанию аналогичны отношениям (3.18)—(3.26): $F(A_k)$

$$F(A_k) = \bigwedge_{i=1}^{m} F_{k_i}, \tag{3.27}$$

$$F(A_k) = \bigvee_{i=1}^{n} F_i , \tag{3.28}$$

$$F(A_k) = \bigtriangledown_{i=1}^{n} F_i , \tag{3.29}$$

$$F(A_k) = \bigwedge_{j=1}^{n} \left(\bigvee_{i=1}^{m} F_i \right)_j , \tag{3.30}$$

$$F(A_k) = \bigwedge_{j=1}^{n} \left(\bigtriangledown_{i=1}^{m} F_i \right)_j , \tag{3.31}$$

$$F(A_k) = \bigvee_{j=1}^{n} \left(\bigwedge_{i=1}^{m} F_{k_i} \right)_j , \tag{3.32}$$

$$F(A_k) = \bigvee_{j=1}^{n} \left(\bigtriangledown_{i=1}^{m} F_i \right)_j , \tag{3.33}$$

$$F(A_k) = \bigtriangledown_{j=1}^{n} \left(\bigwedge_{i=1}^{m} F_{k_i} \right)_j , \tag{3.34}$$

$$F(A_k) = \bigtriangledown_{j=1}^{n} \left(\bigvee_{i=1}^{m} F_i \right)_j . \tag{3.35}$$

Аналогично описывается зависимость (2.17) между контурами $F(a_i)$.

3.1.83. Отношения (2.19) между $F_j(A)$ и одноименными контурами $F_j(a_i)$ элементов A по виду и смысловому содержанию также аналогичны отношениям (3.18)—(3.26):

$$F_j(A)=\bigwedge_{i=1}^{m} F_j(a_i), \tag{3.36}$$

$$F_j(A)=\bigvee_{i=1}^{n} F_j(a_i), \tag{3.37}$$

$$F_j(A)=\bigtriangledown_{i=1}^{n} F_j(a_i), \tag{3.38}$$

$$F_j(A)=\bigwedge_{k=1}^{m}\left(\bigvee_{i=1}^{n} F_j(a_i)\right)_k, \tag{3.39}$$

$$F_j(A)=\bigwedge_{k=1}^{m}\left(\bigtriangledown_{i=1}^{n} F_j(a_i)\right)_k, \tag{3.40}$$

$$F_j(A)=\bigvee_{k=1}^{n}\left(\bigwedge_{i=1}^{m} F_j(a_i)\right)_k, \tag{3.41}$$

$$F_j(A)=\bigvee_{k=1}^{m}\left(\bigtriangledown_{i=1}^{n} F_j(a_i)\right)_k: \tag{3.42}$$

$$F_j(A)=\bigtriangledown_{k=1}^{n}\left(\bigwedge_{i=1}^{m} F_j(a_i)\right)_k, \tag{3.43}$$

$$F_j(A)=\bigtriangledown^{n}\left(\bigvee_{i=1}^{m} F_j(a_i)\right)_k. \tag{3.44}$$

3.1.84. Отношения (3.18)—(3.44) характеризуют логические связи между элементами и контурами проектируемого объекта A_k и модели $S_i(A)$ порождающей среды. Если реальные отношения $R^L(A)$, $R^L(a_i)$, $R^L(F(A))$, $R^L(F(a_i))$, $R^L(F_j(A))$ имеют другой вид, то путем чисто формальных преобразований их можно привести к виду (3.18)—(3.44). Использование логических отношений регламентированного вида расширяет возможности унификации компонентов математического обеспечения САПР.

3.1.90. Таким образом, классификационными признаками моделей порождающей среды на теоретико-множественном и логическом уровнях являются их классы S_i^0 или S_i и логические отношения между элементами и контурами модели и проектируемого объекта. Структурные модели применяются при определении возможной структуры и структурной оптимизации проектируемого объекта. Параметрическая оптимизация осуществляется на уровне количественных свойств и отношений при известной структуре этого объекта.

3.2. СЕМАНТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ

3.2.10. По семантическому содержанию структурные модели разделяются в зависимости от вида моделируемых объектов:

структурные модели объектов (систем, изделий и их частей, средств оснащения производства и т. п.), отражающие состав, взаимосвязь и свойства элементов этих объектов;

структурные модели процессов функционирования объектов, отражающие состав, взаимосвязь и свойства элементов процесса функционирования;

структурные модели перерабатывающих систем (проектных, производственных и т. п.);

структурные модели процессов переработки (процессы проектирования, производства, технологические процессы и т. п.).

2.5.20. По функциональному назначению структурные модели разделяются в зависимости от задач, которые решаются с применением этих моделей;

модели конкретных объектов или процессов, используемые при формировании исходных данных для решения каких-либо задач;

модели порождающей среды, используемые для поиска или синтеза структуры многих объектов (процессов).

3.2.30. Примером структурной модели объекта, используемой для формирования исходных данных, является модель узла (рис. 2.1), включающая в себя матрицу контуров (рис. 2.4, *б*) и графы сопряжений деталей (рис. 2.1, *б, в, г*). Такие модели могут быть и более детальными по содержанию, включая в себя описание иерархической структуры элементов и контуров, логические отношения между ними и т. д.

3.2.31. Наиболее сложными являются структурные модели перерабатывающих систем, так как в них отражаются не только собственные свойства этих систем, но и взаимосвязь их со свойствами объектов переработки.

3.2.40. Рассмотрим особенности описания контуров структурных моделей перерабатывающих систем на примере производственной системы, используемой для изготовления изделий машиностроения.

3.2.41. Множество $F(P)$ контуров производственной системы разделяется на подмножества $F^{-}(P)$, $F^{+}(P)$ заходящих, исходящих и $F^{0}(P)$ — собственных контуров. Заходящие контуры характеризуют свойства предметов производства, с которыми они могут поступить в данную производственную систему, а исходящие контуры — свойства предметов производства, которые могут быть получены после воздействия производственной системы; подмножество собственных контуров характеризует собственные свойства элементов производственной системы, обеспечивающие преобразование свойств предмета производства из исходного в конечное состояние. По аналогии с (2.4)—(2.6), составы контуров производственной системы задаются матрицами:

$$\| c_{i(j)} \|_{P,F^{-}(P)} = [P \times F^{-}(P)], \tag{3.45}$$

$$\| c_{i(j)} \|_{P,F^{+}(P)} = [P \times F^{+}(P)], \tag{3.46}$$

$$\| c_{i(j)} \|_{P,F^{0}(P)} = [P \times F^{0}(P)], \tag{3.47}$$

называемыми соответственно матрицами заходящих, исходящих и собственных контуров элементов производственной системы.

3.2.42. Связи между заходящими и исходящими контурами производственной системы и контурами предметов производства описываются отношениями

$$\forall F_i \in (F^+(P) \cap F(A))[F_i^+(P) \equiv F_i(A)], \tag{3.48}$$

$$\forall F_j \in (F^-(P) \cap F^*(A))[F_j(P) \equiv F_j(A)]. \tag{3.49}$$

Здесь $F_i(A)$ — контур изделия, который должен быть получен в процессе производства; этот контур задан при проектировании изделия. Контур $F_j \in F^*(A)$ есть исходный контур предмета производства — контур заготовки детали, контур элемента конструкции, поступающего на сборку и т. п.

3.2.43. Матрица

$$\| c_{i(j)} \|_{F^+(P),F^-(P)} = [F^+(P) \times F^-(P)] \tag{3.50}$$

характеризует связь между исходящими (выходными) и заходящими (входными) контурами производственной системы и, как следствие из (3.48)—(3.49), между исходными контурами предметов производства и конечными контурами изделия.

3.2.44. Связи между характером преобразования контуров в контуры готового изделия и собственными свойствами производственной системы раскрываются матрицами

$$\| c_{i(j)} \|_{F^0(P),F^-(P)} = [F^0(P) \times F^-(P)], \tag{3.51}$$

или

$$\| c_{i(j)} \|_{F^+(P),F^0(P)} = [F^+(P) \times F^0(P)]. \tag{3.52}$$

В силу (3.48) матрица (3.52) может быть заменена матрицей

$$\| c_{i(j)} \|_{F(A),F^0(P)} = [F(A) \times F^0(P)], \tag{3.53}$$

отражающей взаимосвязь между контурами $F(A)$ готового изделия и собственными свойствами производственной системы.

3.2.45. Если контуры производственной системы не разделяются на заходящие, собственные и исходящие, то при совместном описании изделия и производственной системы они характеризуются одними и теми же контурами $F_i(A) \equiv F_i(P)$, причем $F_i(A)$ описывает сами свойства изделия, а $F_i(P)$ отражает возможность получения $F_i(A)$ в процессе производства изделия; в этом случае $F_i(P)$ отражает выходные свойства производственной системы, т. е. соответствует $F_i^+(P)$. При этом состав свойств производственной системы описывается матрицей контуров

$$\| c_{i(j)} \|_{P,F(P)} = P \times F(P)]. \tag{3.54}$$

Примерами таких матриц являются матрицы контуров (рис. 3.2) табличных моделей изготовления деталей (рис. 2.3).

3.3. ДИЗЪЮНКТИВНАЯ И КОНЪЮНКТИВНАЯ ФОРМЫ СВЯЗИ КОНТУРОВ ПРОЕКТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА И МОДЕЛИ ПОРОЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ

3.3.10. При проектировании объекта A_i по модели порождающей среды $S(A)$ исходными данными об A_i служит требуемый состав контуров $F(A_i)$ этого объекта; результатом проектирова-

ния является структура A_i, элементы которой реализуют контуры $F(A_i)$. Поэтому A_i может быть спроектирован по модели $S(A)$ только в том случае, если $F(A_i)$ является подмножеством контуров $F(A)$ модели и требуемые теоретико-множественные отношения $R^S(F(A_i))$ между контурами объекта также являются подмножеством отношений $R^S(F(A))$ между элементами модели $S(A)$; кроме того, необходимо, чтобы требуемые логические отношения между контурами объекта A_i были выводимыми из логических отношений между контурами $S(A)$:

$$F(A_i) \subseteq F(A), \tag{3.55}$$

$$R^S(F(A_i)) \subseteq R^S(F(A)), \tag{3.56}$$

$$R^L(F(A)) \vdash R^L(F(A_i)). \tag{3.57}$$

3.3.11. Процесс проектирования представляется как последовательность проектных операторов τ_k, воздействующих на модель проектируемого объекта A_i и осуществляющих преобразование модели из предшествующего $(A_i)_{k-1}$ в последующее $(A_i)_k$ состояние. Содержание этих преобразований зависит от уровня моделирования. На структурном уровне осуществляются преобразования состава элементов объекта, его контуров и бинарных отношений между элементами и контурами:

исключение из A_i элемента a_i;

добавление в A_i элемента a_j;

замена в A_i элемента a_i на a_j;

исключение в матрице (2.6) связи между a_i и a_j, т. е. замена $c_{i(j)}=1$ на $c_{i(j)}=0$;

введение связи между a_i и a_j, т. е. замена $c_{i(j)}=0$ на $c_{i(j)}=1$;

исключение из $F(A_i)$ контура F_i;

добавление в $F(A_i)$ контура F_j;

замена в $F(A_i)$ контура F_i на F_j и т. д.

Одновременно с изменением структуры элементов объекта как следствие изменяется и структура его контуров, например, введение нового элемента a_i в конструкцию изделия A_i требует введения контура сопряжения a_i с другими элементами конструкции. Преобразование исходной модели A_i может осуществляться и путем преобразования структуры контуров $F(A_i)$. Возможны также преобразования моделей на уровне логических и количественных свойств и отношений.

3.3.12. В общем случае воздействие проектного оператора τ_k описывается отношением

$$(A_i)_k = R((A_i)_{k-1}, \tau_k) \tag{3.58}$$

или

$$F(A_i)_k = R(F(A_i)_{k-1}, F(\tau_k)). \tag{3.59}$$

Наиболее употребительным является отношение (3.59), как позволяющее более полно отражать функциональные и другие свойства проектируемого объекта.

3.3.13. При проектировании объекта A_i по структурной модели $S(A)$ вместо воздействия τ_k можно принять воздействие на $(A_i)_{k-1}$ элемента a_k модели $S(A)$; в этом случае вместо отношений вида (3.58) или (3.59) будут использоваться отношения вида

$$(A_i)_k = R((A_i)_{k-1}, a_k) \tag{3.60}$$

или

$$F(A_i)_k = R(F(A_i)_{k-1}, F(a_k)). \tag{3.61}$$

3.3.14. Для математического представления отношения (3.59) при проектировании объекта A_i по структурной модели $S(A)$ используются теоретико-множественные и логические отношения между контурами проектируемого объекта и структурной модели. При этом используются две формы представления связей между контурами проектируемого объекта и модели порождающей среды — дизъюнктивная и конъюнктивная.

3.3.20. При дизъюнктивной форме связи контуров объекта A_i и структурной модели $S(A)$ принимаются следующие значения контуров проектируемого объекта:

1) состав контуров, которым должен обладать проектируемый объект A_i в соответствии с заданием на проектирование, обозначается $F(A_i)$; истинностное значение контуров, входящих в $F(A_i)$, принимается равными единице;

2) исходное состояние контуров объекта A_i обозначается $F(A_i)_0$. В исходном и всех последующих состояниях истинностные значения контуров принимаются в соответствии с (2.12): если контур F_i реализован, т. е. выполняется условие (2.11), то $F_i=1$, а если не реализован, то $F_i=0$. Матрица контуров структурной модели в этом случае называется дизъюнктивной.

3.3.21. Истинностные значения контура F_i оператора, воздействующего на объект проектирования, принимаются: $F_i(\tau_k)=1$, если контур $F_i(A_i)$ будет реализован под воздействием данного оператора, и $F_i(\tau_k)=0$ — в противном случае, т. е.

$$F_i(\tau_k) = \begin{cases} 1, \text{ если оператор } \tau_k \text{ реализует} \\ \text{контур } F_i(A_i); \\ 0 \text{—в противном случае.} \end{cases} \tag{3.62}$$

При использовании отношений (3.61) принимается:

$$F_i(a_k) = \begin{cases} 1, \text{ если включение } a_k \text{ в } A_i \\ \text{приводит к реализации } F_i(A_i); \\ 0 \text{ —в противном случае.} \end{cases} \tag{3.63}$$

3.3.22. Состав контуров A_i после включения a_k определяется по формуле

$$F(A_i)_k = F(A_i)_{k-1} \vee F(a_k). \tag{3.64}$$

Поскольку между контурами $F(A)$ имеются логические связи по условиям их существования, после вычисления $F(A_i)_k$ по фор-

муле (3.64) необходимо определить контуры, реализуемые из-за логических связей внутри $F(A_i)$, и включить их в состав $F(A_i)_k$.

3.3.23. Состав контуров A_i после воздействия оператора τ_k определяется по аналогичной формуле

$$F(A_i)_k = F(A_i)_{k-1} \vee F(\tau_k). \tag{3.65}$$

3.3.24. Возможности участия элемента a_k в реализации проектируемого объекта A_i характеризуются следующими группами контуров:

контуры, которые могут быть реализованы элементом a_k:

$$F(A_i)_k^{\mathrm{I}} = \overline{\mathbf{F}}(A_i)_{k-1} \wedge F(a)_k, \tag{3.66}$$

где $\overline{\mathbf{F}}(A)_{k-1}$ — результат инверсии вектора $F(A_i)_{k-1}$;

контуры, которые не могут быть реализованы элементом a_k:

$$F(A_i)_k^{\mathrm{II}} = \overline{F}(A_i)_{k-1} \wedge \overline{F}(a_k), \tag{3.67}$$

где $\overline{F}(a_k)$ — результат инверсии вектора $F(a_k)$;

контуры, которые уже реализованы, но могли бы быть реализованы элементом a_k:

$$F(A_i)_k^{\mathrm{III}} = F(A_i)_{k-1} \wedge F(a_k); \tag{3.68}$$

контуры, которые уже реализованы, но не могли бы быть реализованы элементом a_k:

$$F(A_i)_k^{\mathrm{IV}} = F(A_i)_{k-1} \wedge \overline{F}(a_k). \tag{3.69}$$

3.3.25. Элемент a_k может быть включен в A_i только при условии (2.27). Состав контуров, реализуемых элементами данной модели порождающей среды, равен

$$F(A) = \bigcup_{k=1}^{n} F(a_k) \tag{3.70}$$

или, на логическом уровне

$$F(A) = \bigvee_{k=1}^{n} F(a_k). \tag{3.71}$$

3.3.26. Модель порождающей среды с составом элементов A достаточна для проектирования A_i при условии

$$F(A_i) \subseteq F(A) \tag{3.72}$$

или, на логическом уровне

$$F(A_i) = F(A) \wedge F(A_i). \tag{3.73}$$

3.3.27. Дизъюнктивная форма связи контуров объекта проектирования и модели порождающей среды применима только в тех случаях, когда любой контур объекта реализуется единственным элементом; если для реализации контура необходимо несколько элементов, то дизъюнктивная форма неприемлема — в этих случаях применяется конъюнктивная форма связи.

3.3.30. При конъюнктивной форме связи и в исходном, и в конечном состоянии объекта проектирования истинностные значения

логической величины контура $F_i(A_i)$, подлежащего реализации, принимаются равными единице — $F_i(A_i)=1$.

3.3.31. Истинностные значения контура $F_i(a_k)$ элемента a_k, включаемого в A_i, принимаются равными

$$F_i(a_k)=\begin{cases}1, \text{ если элемент } a_k \text{ участвует}\\ \text{в реализации } F_i(A_i);\\ 0\text{—в противном случае.}\end{cases} \tag{3.74}$$

Матрица контуров структурной модели в этом случае называется конъюнктивной.

3.3.32. Возможности участия элемента a_k в реализации контуров проектируемого объекта A_i характеризуются следующими группами контуров:

контуры, которые могут быть реализованы с участием a_k:

$$F(A_i)_k^{\mathrm{I}}=F(A_i)\wedge F(a_k), \tag{3.75}$$

где $F(A_i)$ — вектор состава контуров, подлежащих реализации в проектируемом объекте;

контуры, подлежащие реализации, в реализации которых не может участвовать a_k:

$$F(A_i)_k^{\mathrm{II}}=F(A_i)\wedge\overline{F}(a_k); \tag{3.76}$$

контуры, не подлежащие реализации, в реализации которых мог бы участвовать элемент a_k:

$$F(A_i)_k^{\mathrm{III}}=\overline{F}(A_i)\wedge F(a_k); \tag{3.77}$$

контуры, не подлежащие реализации, в реализации которых не может участвовать элемент a_k:

$$F(A_i)_k^{\mathrm{IV}}=\overline{F}(A_i)\wedge\overline{F}(a_k). \tag{3.78}$$

3.3.33. Вопрос о действительной реализации контуров $F_j(A_i)$ объекта решается при конъюнктивной форме связи путем анализа состава элементов, которые должны участвовать в реализации $F_j(A_i)$.

Если

$$F_j(A_i)=(a_{j_1}, a_{j_2},\ldots,a_{j_m}), \tag{3.79}$$

то

$$\mathbf{F}_j(A_i)=F_j(a_{j_1})\wedge F_j(a_{j_2})\wedge\ldots\wedge F_j(a_{j_m}). \tag{3.80}$$

Контур $F_j(A_i)$ будет реализован при условии

$$F_j(A_i)=\bigwedge_{k=1}^{m}F_j(a_{j_k})=1. \tag{3.81}$$

Состав элементов (3.79), реализующих контур $F_j(A_i)$, задается заранее, так как он не может быть выявлен на основании формул (3.75)—(3.78).

3.3.34. Состав контуров, которые могут быть реализованы совокупностью A_i элементов, равен

$$F(A_i)=\bigvee_{j=1}^{m}\bigwedge_{k=1}^{n}F_j\,(a_{j_k}). \qquad (3.82)$$

3.3.35. Состав элементов, входящих в A_i, равен

$$A_i=\bigcup_{j=1}^{m}\mathbf{F}_j(A_i). \qquad (3.83)$$

4. ТИПОВЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ СВОЙСТВ И ОБЪЕКТОВ

4.1. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

4.1.10. Количественные модели предназначены для выполнения количественных расчетов и вычислений — прочностных, кинематических, точностных, оптимизационных и т. п.

4.1.11. В простейшем случае количественная модель представляется на единственном — количественном — уровне описания и включает в себя набор количественных отношений между числовыми величинами. Как правило, такая модель используется в САПР без изменений в том виде, как она разработана в конкретной предметной области.

4.1.12. В тех случаях, когда при выполнении расчета используется большое количество формул с пересекающимся составом данных или когда расчеты выполняются в различных вариантах, с применением разных методик и расчетных формул, строятся количественные модели, по своей структуре аналогичные моделям сложных объектов проектирования. Такие модели могут включать в себя все три уровня описания — количественный, логический, теоретико-множественный. Числовые величины в своем действительном значении рассматриваются только на количественном уровне; на логическом уровне эти величины рассматриваются как логические переменные, и на теоретико-множественном уровне — как элементы множества величин, входящих в данную формулу, в набор формул и т. п. При таком моделировании количественная модель представляет собой сложную, иногда — иерархическую систему, составными частями которой являются совокупности формул, неравенства и т. п., относящиеся к расчету определенных контуров проектируемого объекта, а также формулы и другие количественные соотношения.

4.1.13. Примером такой модели может служить расчет ожидаемой погрешности обработки деталей. Здесь существуют следующие основные виды количественных отношений:

1. Систематические погрешности суммируются по формуле

$$\delta_\Sigma=k_1\delta_1+k_2\delta_2+\ldots+k_n\delta_n,$$

где k_i — коэффициент приведения.

2. Случайные погрешности суммируются по формуле

$$\delta_\Sigma = \sqrt{(k_1\delta_1)^2+(k_2\delta_2)^2+\ldots+(k_n\delta_n)^2}\ ,$$

где k_i — коэффициент, зависящий от формы кривой распределения составляющих погрешностей δ_i.

В общем случае количественная модель расчета погрешностей описывается функцией

$$y=(k_1^{\alpha_1}x_1^{\beta_1}+k_2^{\alpha_2}x_2^{\beta_2}+\ldots+k_n^{\alpha_n}x_n^{\beta_n})^{\gamma},$$

где α_i, β_i, γ_i — постоянные параметры; k_i, x_i — переменные параметры.

Логические связи в этом случае описываются выражением

$$y=[(k_1\wedge\alpha_1\wedge x_1\wedge\beta_1)\vee(k_2\wedge\alpha_2\wedge x_2\wedge\beta_2)\vee\ldots\vee(k_n\wedge\alpha_n\wedge x_n\wedge \wedge\beta_n)]\wedge\gamma.$$

На теоретико-множественном уровне множество величин, учитываемых при вычислении y, описывается в виде

$$M_y=\{k_1,k_2,\ldots,k_n,\alpha_1,\alpha_2,\ldots,\alpha_n,x_1,x_2,\ldots,x_n,\beta_1,\beta_2,\ldots,\beta_n,\gamma\}.$$

4.1.14. При проектировании технологических процессов обработки деталей на металлорежущих станках вычисляется скорость резания. Множество факторов, влияющих на скорость резания при различных видах обработки, можно представить как множество

$$M_V\{c_V, k_V, T_n, m, t_{усл}, S, d, B, x_V, y_V, z_V, r_V\},$$

где c_V — коэффициент, характеризующий нормативные условия обработки; k_V — общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий измененные условия обработки против нормативных; d — диаметр обработки или диаметр инструмента в мм; T_n — стойкость инструмента в мин; m — показатель относительной стойкости инструмента; $t_{усл}$ условная глубина резания в мм; S — подача в мм/об (мм/зуб. или мм/дв. ход, или мм/мин); z — число зубьев режущего инструмента; B — ширина фрезерования или шлифования в мм; x_V, y_V, z_V, r_V — показатели степени. Анализ причинно-следственных связей между факторами M_V показывает, что логические отношения между ними и скоростью резания V имеют вид

$$V=c_V\wedge k_V\wedge T_n\wedge m\wedge[(t_{усл}\wedge x_V)\vee(S\wedge y_V)\vee(d\wedge z_V)\vee(B\wedge r_V)],$$

причем c_V, k_V, T_n и m всегда истинны, а истинностные значения других переменных зависят от вида обработки. Например, при продольном наружном точении истинны $t_{усл}$, x_V, S и y_V, а при сверлении S, y_V, d и z_V и т. д. Поскольку обобщенная формула количественных отношений между факторами M_V имеет вид

$$V=\frac{c_V\ k_V\ d^{z_V}}{T_n^m\ t_{усл}^{x_V}S^{y_V}B^{r_V}}\ ,$$

то формулы количественных отношений между факторами, с учетом их истинностных логических значений, имеют вид:

при продольном наружном точении

$$V=\frac{c_V\ k_V}{T_n^m\ t^{x_V}\ S^{y_V}},$$

при сверлении

$$V=\frac{c_V\ k_V\ d^{z_V}}{T_n^m S^{y_V}}$$

и т. д. Таким образом, приведенные выше формулы представляют модели расчета скорости резания на различных уровнях абстрагирования.

4.1.20. Структура сложной количественной модели органически связана со структурой объекта, поэтому построение такой модели начинается с анализа взаимосвязи контуров проектируемого объекта. Затем выявляются контуры и их параметры, подлежащие расчету, и устанавливается функциональная связь между ними. Далее выявляется способ определения числовых значений этих величин — расчетным путем, из нормативных данных, экспериментальным путем и т. д. В случае необходимости расчетов выявляются возможные методы расчета, расчетные формулы и другие количественные отношения, а также логические связи между ними. Устанавливаются информационные связи между всеми данными, используемыми при проектировании. Все это и позволяет построить конкретную сложную количественную модель на теоретико-множественном, логическом и количественном уровнях.

4.1.21. Важным элементом методики построения количественных моделей является содержательный и формальный анализ процесса проектирования, методов принятия решений и методик расчета с целью унификации вычислительных процедур, расчетных формул, состава и способов представления данных. Это позволяет повысить не только эффективность самих расчетов, но и эффективность автоматизированного проектирования в целом.

4.1.30. Количественные модели классифицируются по двум направлениям:

1) как сложные объекты, моделируемые на различных уровнях абстрагирования; в этом случае на теоретико-множественном и логическом уровнях применяются модели, аналогичные рассмотренным выше сочетательным и упорядочивающим моделям;

2) как чисто количественные модели традиционного типа. В этом случае классификация количественных моделей также является многоуровневой.

4.1.40. На самом верхнем уровне эти модели делятся на два класса: детерминистические и стохастические. Наибольшее число детерминистических моделей было разработано в таких науках, как механика, сопротивление материалов и т. п., и с успехом используются при проектировании. Однако развитие теории вероятностей показало, что во многих процессах преобладают больше

стохастические, чем детерминированные соотношения. Поэтому могут использоваться модели детерминированного или стохастического характера: при этом используется детерминистическая модель детерминистического объекта проектирования и стохастическая модель вероятностного объекта проектирования.

4.1.50. На следующем уровне рассматриваются модели, при построении которых используется алгебраический аппарат либо аппарат математического анализа.

4.1.51. Если модель при заданных значениях параметров на входе позволяет вычислить одно или несколько значений выходных параметров, то такая модель отражает функциональную зависимость и описывается функцией. Если модель включает выражения, тождество которых остается верным только при подстановке определенных значений параметров, то такая модель описывается уравнениями.

4.1.52. По виду функций, входящих в уравнения, различаются модели, включающие алгебраические, трансцедентные, дифференциальные, разностные и уравнения в частных разностях. Среди функций, использующих алгебраический аппарат, рассматриваются: степенные, показательные, логарифмические и т. д. Производные и интегралы относятся к моделям, использующим аппарат математического анализа.

4.1.53. Уравнения и функции, применяемые при расчете количественных величин, могут приводиться к обобщенному виду и использоваться в качестве типовых количественных отношений.

4.1.54. Как показывает анализ, при проектировании применяются в основном, количественные отношения в виде уравнений.

4.1.60. Структура количественной модели может быть представлена в виде

$$F(N)=(\{f\},\{R\}),$$

где $\{f\}$ — множество элементарных функций; $\{R\}$ — множество отношений между элементарными функциями.

4.1.61. Для выявления типового состава множеств $\{f\}$ и $\{R\}$ проведен анализ наиболее распространенных уравнений (табл. 4.1). При проведении анализа исходное уравнение приводится к канонической форме:

$$P(x)=a_0x^n+a_1x^{n-1}+\ldots+a_n=0,$$

которая имеет те же корни, что и данное уравнение.

Рассмотрим уравнение вида

$$y=kx+b.$$

Заменяя $k=a_0$, $b=a_1$, $n=1$, $n-1=0$, получаем

$$y=a_0x_0^1+a_1x_0^0.$$

Полученное уравнение состоит из суммы элементарных степенных функций

$$y=\sum_{i=1}^{i=0} a_i\, x_i^{1-i},$$

Таблица 4.1

Исходное уравнение	Каноническая форма	Элементарная функция	Коэффициенты	Общий вид
1	2	3	4	5
$y=kx+b$	$N(x)=a_0x^1+a_1x^0$	$y=ax^n$	$a_0=k$ $a_1=b$	$N(x)=\sum_{n=1}^{n=0} a_n x^{1-n}$
$y=ax+bx^2$	$N(x)=a_0x^2+a_1x^1+a_2x^0$	$y=ax^n$	$a_0=b$ $a_1=a$ $a_2=0$	$N(x)=\sum_{n=2}^{n=0} \alpha_n x^{2-n}$
$y=\frac{1}{B+Cx}$	$N(x)=\frac{a_0'x^0}{a_0''x^1+a_1''x^0}$	$y=ax^n$	$a_0'=1$ $a_0''=C$ $a_1''=B$	$N(x)=\frac{a_n'x^n}{\sum_{n=1}^{0} a_n'' x^{n-1}}$
$y=\frac{ax}{x+b}$	$N(x)=\frac{a_0'x^1+a_1'x^0}{a_0''x^1+a_1''x^0}$	$y=ax^n$	$a_0'=a$ $a_1'=0$ $a_0''=1$ $a_1''=b$	$N(x)=\frac{\sum_n a_n'x^n}{\sum_n a_n''x^n}$
$y=\frac{a_1x+b_1}{a_2x+b_2}$	$N(x)=\frac{a_0'x^1+a_1'x^0}{a_0''x^1+a_1''x^0}$	$y=ax^n$	$a_0'=a_1$ $a_1'=b_1$ $a_0''=a_2$ $a_1''=b_2$	$N(x)=\frac{\sum_n a_n'x^n}{\sum_n a_n''x^n}$
$y=\sqrt{ax+b}$	$N(x)=(a_0'x^1+a_1'x^0)^{\frac{1}{2}}$	$y=(ax^n)^c$	$a_0'=a$ $a_1'=b$ $c=\frac{1}{2}$	$N(x)=(\sum_n a_n x^n)^c$
$y=\log_a x$	$N(x)=a_0'x^0\,(\log_b a_0''x^1)^c$	$y_1=f_1(x)=a_n'x^n$ $y_2=f_2(x)=$ $=(\log_b a_n''x^n)^c$	$a_0'=1$ $a_0''=1$ $b=a$ $c=1$	$N(x)=f_1(x)\times$ $\times f_2(x)=\prod_n f_n(x)$
$y=A\sin(\omega x+$ $+\varphi_0)$	$N(x)=a_0'x^0[\sin(a_0''x^1+$ $+a_1''x^0)\ ]^c$	$y=$ $=a'x^n[\sin a''x^n]^c$	$a_0'=A$ $a_0''=\omega$ $a_1''=\varphi_0$ $c=1$	$N(x)=$ $=f_1(x)f_2[f_3(x)]=$ $=\prod_n f_n(f_n(x))$.

Результаты анализа других функций приведены в табл. 4.1: исходное уравнение (графа 1), преобразованное уравнение в канонической форме (графа 2), вид составляющей элементарной функции (или функций) (графа 3), коэффициенты замены и их значения (графа 4). Форма уравнения, реализуемого в количественной модели, приведена в графе 5.

4.1.62. Таким образом, как показывает анализ, приведенный в табл. 4.1, все многообразие расчетных уравнений может быть сведено к конечному набору элементарных функций (в таблице это степенные функции вида $y=ax^b$), связанных отношениями: сумма, произведение, разность, деление, степень и т. д.

4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ УРАВНЕНИЙ

4.2.10. Для построения классификации вначале рассматриваются четыре отношения: сложение, вычитание, умножение и деление. При этом вычитание можно представить как сложение со знаком минус, а деление — умножение на сомножитель в минус первой степени. Поэтому далее в классификации рассматривается только два отношения: суммирование (обозначаем Σ) и умножение (обозначаем Π). Элементарные функции обозначаются $f(x)$.

4.2.20. Генерация всех возможных сочетаний функции и отношений осуществляется последовательным образом с добавлением на каждом шаге к предыдущему уравнению одного из двух отношений. Схема классификации представляется в виде дерева (рис. 4.1). Корневая вершина дерева — исходная элементарная функция $f(x)$. Из корневой и из всех последующих вершин исходят по две дуги, соответственно с отношениями Σ и Π.

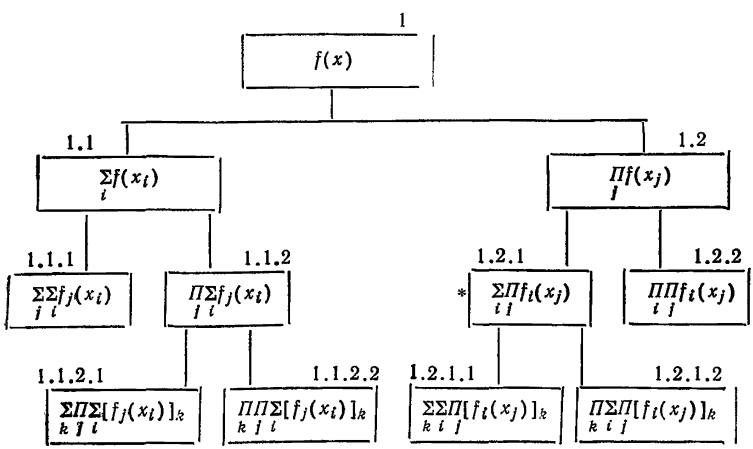


Рис. 4.1.

4.2.21. На нулевом уровне имеем $f(x)$; на первом уровне — $\Sigma f(x)$ и $\Pi f(x)$; на втором уровне $\Sigma\Sigma f(x)$, $\Sigma\Pi f(x)$, $\Pi\Sigma f(x)$ и $\Pi\Pi f(x)$. Так как, с точки зрения разработки количественной модели,

$$\Sigma\Sigma f(x)=\Sigma f(x),$$
$$\Pi\Pi f(x)=\Pi f(x),$$

то они из дальнейшей генерации исключаются. Для дальнейшего анализа остаются уравнения вида

$$\Pi\Sigma f(x) \text{ и } \Sigma\Pi f(x).$$

4.2.22. На третьем уровне, объединяя соответственно отношения Σ и Π, получаем уравнения:

$$\Sigma\Pi\Sigma f(x),\ \Pi\Pi\Sigma f(x),\ \Sigma\Sigma\Pi f(x),\ \Pi\Sigma\Pi f(x).$$

На основании замечаний, сделанных выше, можно заменить

$$\Pi\Pi\Sigma f(x)=\Pi\Sigma f(x) \text{ и } \Sigma\Sigma\Pi f(x)=\Sigma\Pi f(x),$$

поэтому из дальнейшего анализа они исключаются.

4.2.23. Легко показать, что

$$\Sigma\Pi\Sigma f(x)=\Sigma\Pi f(x) \text{ и } \Pi\Sigma\Pi f(x)=\Sigma\Pi f(x).$$

Пусть имеем уравнение вида $\Sigma\Pi\Sigma f(x)$:

$$P=(a+b)(c+d)+(a+c)(b+d)+(a+d)(b+c),$$

после раскрытия скобок получим

$$P=ac+bc+ad+bd+ab+cb+ad+cd+ab+db+ac+dc,$$

т. е. получено уравнение вида $\Sigma\Pi f(x)$.

Рассмотрим уравнение вида $\Pi\Sigma\Pi f(x)$:

$$P=(ab+cd+ac)(ad+bc+bd),$$

после раскрытия скобок получим

$$P=a^2bd+acd^2+a^2cd+ab^2c+bc^2d+abc^2+ab^2d+abcd+bcd^2,$$

т. е. получено уравнение вида $\Sigma\Pi f(x)$.

Таким образом, любое уравнение следующих уровней может быть преобразовано в виде $\Sigma\Pi f(x)$, поэтому на этом генерация заканчивается.

4.2.24. В табл. 4.2 приведены четыре уравнения (будем называть их простыми), которые образованы из элементарных функций и двух отношений между ними. Эти четыре простых уравнения включают все многообразие расчетных формул, в основе которых лежат четыре отношения: сложение, вычитание, умножение, деление.

4.2.30. Сложные составные уравнения образуются из простых (приведенных в табл. 4.2) путем применения к ним отношений деления (умножение на сомножитель в минус первой степени) или возведения в степень (при извлечении корня степень имеет обратное значение).

Таблица 4.2

Обозначение рис. 4.1	Номер п/п	Простая функции	Шифр
1	1	$f(x)$	N_1
1.1	2	$\sum_i f(x_i)$	N_2
1.2	3	$\prod_j f(x_j)$	N_3
1.3	4	$\sum_i \prod_j f_i(x_j)$	N_4

4.2.31. В табл. 4.3 приведена матрица, связывающая попарно четыре простых уравнения из табл. 4.2 отношением деления (в матрице обозначено горизонтальной чертой). Таким образом, в общем случае может быть получено 16 составных уравнений (они обозначены номерами *ij*, где $i=1, ..., 4$; $j=1, ..., 4$).

4.2.32. В табл. 4.4 показано, что уравнения с номерами 1.1; 1.3; 2.1; 2.3; 3.1; 3.3; 4.1; 4.3 могут быть сведены к уже полученным ранее простым уравнениям N_1, N_2, N_3, N_4. Поэтому получаем восемь составных сложных уравнений (N_5, ..., N_{12}), в которых простые уравнения связаны отношением деления.

4.2.40. Дальнейшее образование составных уравнений производим путем применения отношения «возведения в степень». С этой целью полученные ранее (табл. 4.2 и 4.4) двенадцать уравнений N_1, ..., N_{12} возводим в степень.

4.2.41. В табл. 4.5 приведены двенадцать исходных уравнений в степени *c*. Как видно из таблицы, уравнения $[N_1]^c$ и $[N_3]^c$ не образуют нового уравнения, а меняют только вид элементарной функции, т. е.

$$y=[f_1(x)]^c=f_2(x).$$

Таким образом, применение операции возведения в степень дает десять составных уравнений (в таблице они обозначены номерами N_{13}, ..., N_{22}).

Таблица 4.3

		N_1	N_2	N_3	N_4
		$f(x)$	$\sum_i f(x_i)$	$\prod_j f(x_j)$	$\sum_i \prod_j f_i(x_j)$
N_1	$f(x)$	$\frac{f_1(x)}{f_2(x)}$ 1.1	$\frac{f_1(x)}{\sum_i f_2(x_i)}$ 1.2	$\frac{f_1(x)}{\prod_j f_2(x_j)}$ 1.3	$\frac{f_1(x)}{\sum_i \prod_j f_{2\cdot}(x_j)}$ 1.4
N_2	$\sum_i f(x_i)$	$\frac{\sum_i f_1(x_i)}{f_2(x)}$ 2.1	$\frac{\sum_i f_1(x_i)}{\sum_i f_2(x_i)}$ 2.2	$\frac{\sum_i f_1(x_i)}{\prod_j f_2(x_j)}$ 2.3	$\frac{\sum_i f_2(x_i)}{\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)}$ 2.4
N_3	$\prod_j f(x_j)$	$\frac{\prod_j f_1(x_j)}{f_2(x)}$ 3.1	$\frac{\prod_j f_1(x_j)}{\sum_i f_2(x_i)}$ 3.2	$\frac{\prod_j f_1(x_j)}{\prod_j f_2(x_j)}$ 3.3	$\frac{\prod_j f_1(x_j)}{\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)}$ 3.4
N_4	$\sum_i \prod_j f_i(x_j)$	$\frac{\sum_i \prod_j f_{1i}(x_j)}{f_2(x)}$ 4.1	$\frac{\sum_i \prod_j f_{1i}(x_j)}{\sum_i f_2(x_i)}$ 4.2	$\frac{\sum_i \prod_j f_{1i}(x_j)}{\prod_j f_2(x_j)}$ 4.3	$\frac{\sum_i \prod_j f_{1i}(x_j)}{\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)}$ 4.4

Таблица 4.4

Составная функция	Содержание	Простая функция	Шифр
1	2	3	4
1.1	$f_1(x)\cdot f_2^{-1}(x)=f_3(x)$	$f(x)$	N_1
1.2	$\frac{N_1}{N_2}$	$\frac{f_1(x)}{\sum\limits_i f_2(x_i)}$	N_5
1.3	$f_1(x)\cdot\prod\limits_j f_2^{-1}(x_j)=\prod\limits_{j+1} f_3(x_j)$	$\prod\limits_j f(x_j)$	N_3
1.4	$\frac{N_1}{N_4}$	$\frac{f_1(x)}{\sum\limits_i\prod\limits_j f_2(x_j)}$	N_6
2.1	$\sum\limits_i f_1(x_i)\cdot f_2^{-1}(x)=\sum\limits_i f_3(x_i)$	$\sum\limits_i f(x_i)$	N_2
2.2	$\frac{N_2}{N_3}$	$\frac{\sum\limits_i f_1(x_i)}{\sum\limits_i f_3(x_i)}$	N_7
2.3	$\sum\limits_i f_1(x_i)\prod\limits_j f_2^{-1}(x_j)=\sum\limits_i\prod\limits_j f_{3i}(x_j)$	$\sum\limits_i\prod\limits_j f_i(x_j)$	N_4
2.4	$\frac{N_2}{N_4}$	$\frac{\sum\limits_i f_1(x_i)}{\sum\limits_i\prod\limits_j f_{2i}(x_j)}$	N_8
3.1	$\prod\limits_j f_1(x_j)\cdot f_2^{-1}(x)=\prod\limits_{j+1} f_3(x_j)$	$\prod\limits_j f(x_j)$	N_3
3.2	$\frac{N_3}{N_2}$	$\frac{\prod\limits_j f_1(x_j)}{\sum\limits_i\prod\limits_j f_2(x_i)}$	N_9
3.3	$\prod\limits_j f_1(x_j)\cdot\prod\limits_j f_2^{-1}(x_j)=\prod\limits_j f_3(x_j)$	$\prod\limits_j f(x_j)$	N_3
3.4	$\frac{N_3}{N_4}$	$\frac{\prod\limits_j f_1(x_j)}{\sum\limits_i\prod\limits_j f_{2i}(x_j)}$	N_{10}

Продолжение табл. 4.4

Составная функция	Содержание	Простая функция	Шифр
1	2	3	4
4.1	$\sum\limits_i \prod\limits_j f_{1i}(x_j) \cdot f_2^{-1}(x) = \sum\limits_i \prod\limits_j f_{3i}(x_j)$	$\sum\limits_i \prod\limits_j f_i(x_j)$	N_4
4.2	$\frac{N_4}{N_2}$	$\frac{\sum\limits_i \prod\limits_j f_{1i}(x_j)}{\sum\limits_i f_{2i}(x_i)}$	N_{11}
4.3	$\sum\limits_i \prod\limits_j f_{1i}(x_j) \cdot \prod\limits_j f_2^{-1}(x_j) = \sum\limits_i \prod\limits_j f_{3i}(x_j)$	$\sum\limits_i \prod\limits_j f_i(x_j)$	N_4
4.4	$\frac{N_4}{N_4}$	$\frac{\sum\limits_i \prod\limits_j f_{1i}(x_j)}{\sum\limits_i \prod\limits_j f_{2i}(x_j)}$	N_{12}

Таблица 4.5

Шифр	Возведение в степень	Содержание	Функция	Шифр
1	2	3	4	5
N_1	$[f(x)]^c$	$f_1^c(x) = f_2(x)$	$f(x)$	N_1
N_2	$[\sum\limits_i f(x_i)]^c$	$[N_2]^c$	$[\sum\limits_i f(x_i)]^c$	N_{13}
N_3	$[\prod\limits_j f_1(x_j)]^c$	$\prod\limits_j f_1^c(x_j) = \prod\limits_j f_2(x_j)$	$\prod\limits_j f(x_j)$	N_3
N_4	$[\sum\limits_i \prod\limits_j f_i(x_j)]^c$	$[N_4]^c$	$[\sum\limits_i \prod\limits_j f_i(x_j)]^c$	N_{14}
N_5	$\left[\frac{f_1(x)}{\sum\limits_i f_2(x_i)}\right]^c$	$\frac{f_1^2(x)}{[\sum\limits_i f_2(x_i)]^c} = \frac{f_3(x)}{[\sum\limits_i f_2(x_i)]^2}$	$\frac{N_1}{N_{13}}$	N_{15}
N_6	$\left[\frac{f_1(x)}{\sum\limits_i \prod\limits_j f_{2i}(x_j)}\right]^c$	$\frac{f_1^c(x)}{[\sum\limits_i \prod\limits_j f_{2i}(x_j)]^c} = \frac{f_3(x)}{[\sum\limits_i \prod\limits_j f_{2i}(x_j)]^c}$	$\frac{N_1}{N_{14}}$	N_{16}
N_7	$\left[\frac{\sum\limits_i f_1(x_i)}{\sum\limits_i f_2(x_i)}\right]^c$	$\frac{N_{13}}{N_{13}}$	$\frac{[\sum\limits_i f_1(x_i)]^c}{[\sum\limits_i f_2(x_i)]^d}$	N_{17}

Продолжение табл. 4.5

Шифр	Возведение в степень	Содержание	Функция	Шифр
1	2	3	4	5
N_8	$\left[\frac{\sum_i f_1(x_i)}{\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)}\right]^c$	$\frac{N_{13}}{N_{14}}$	$\frac{[\sum_i f_1(x_i)]^c}{[\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)]^d}$	N_{18}
N_9	$\left[\frac{\prod_j f_1(x_j)}{\sum_i f_2(x_i)}\right]^c$	$\frac{\prod_j f_1^c(x_j)}{[\sum_i f_{2i}(x_i)]^c} = \frac{\prod_j f_3(x_j)}{[\sum_i f_2(x_i)]^c}$	$\frac{N_3}{N_{13}}$	N_{19}
N_{10}	$\left[\frac{\prod_j f_1(x_j)}{\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)}\right]^c$	$\frac{\prod_j f_1^c(x_j)}{[\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)]^c} = \frac{\prod_j f_3(x_j)}{[\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)]^c}$	$\frac{N_3}{N_{14}}$	N_{20}
N_{11}	$\left[\frac{\sum_i \prod_j f_{1i}(x_j)}{\sum_i f_2(x_i)}\right]^c$	$\frac{N_{14}}{N_{13}}$	$\frac{[\sum_i \prod_j f_{1i}(x_j)]^c}{[\sum_i f_2(x_i)]^d}$	N_{21}
N_{12}	$\left[\frac{\sum_i \prod_j f_{1i}(x_j)}{\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)}\right]^c$	$\frac{N_{14}}{N_{14}}$	$\frac{[\sum_i \prod_j f_{1i}(x_j)]^c}{[\sum_i \prod_j f_{2i}(x_j)]^d}$	N_{22}

4.3. РАЗРАБОТКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

4.3.10. Рассмотрим следующие сложные уравнения:

$$y = a_1 x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot x_3^{b_3} \cdot \ldots \cdot x_n^{b_n}, \qquad (N_3);$$

$$y = a_1 x_1^{b_1} + a_2 x_2^{b_2} + a_3 x_3^{b_3} + \ldots + a_n x_n^{b_n}, \qquad (N_2);$$

$$y = (a_1 x_1^{b_1} + a_2 x_2^{b_2})^{c_2} / (a_3 x_3^{b_3} + \ldots), \qquad (N_{22}).$$

4.3.11. На рис. 4.2 приведена обобщенная схема организации вычислений по приведенным уравнениям. Здесь $[N]$ — вектор номеров уравнений; $[a]$ — векторы коэффициентов пропорциональности a; $[b]$ — матрица показателей степени $b_{i_1}, \ldots b_{i_n}$ элементарных функций в уравнениях; $b_{1i}, \ldots, b_{22i}$ — векторы показателей степени в сложных составных уравнениях.

4.3.20. Для вычисления по уравнению N_3 в модели заданы следующие значения коэффициентов и показателей: $[a^{(1)}]$, $[b]$ и операция умножения ($\times$). Значения $[a^{(2)}]$, ..., $[a^{(m)}]$; $[c]$ равны единице.

4.3.21. Для вычисления по уравнению N_2 в модели заданы следующие значения коэффициентов и показателей: $[a^{(1)}]$, ...,

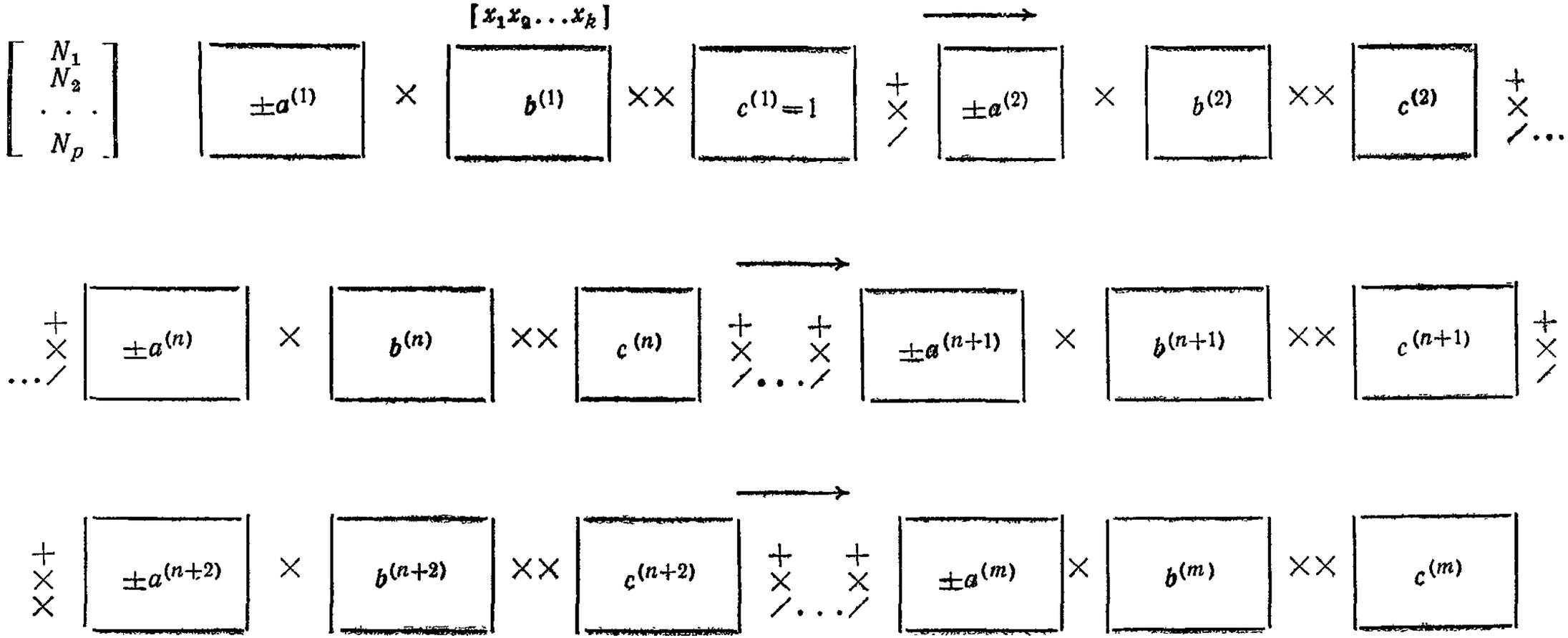

[x1x2...xk]
N1
N2
...
Np
±a(1)
b(1)
c(1)=1
±a(2)
b(2)
c(2)
±a(n)
b(n)
c(n)
±a(n+1)
b(n+1)
c(n+1)
±a(n+2)
b(n+2)
c(n+2)
±a(m)
b(m)
c(m)

Рис. 4.2.

$[a^{(n)}]$; $[b^{(1)}]$, ..., $[b^{(n)}]$ и операция сложения (+). Значения $[a^{(n+1)}]$, ..., $[a^{(m)}]$, $[b^{(n+1)}]$, ..., $[b^{(m)}]$ и $[c^{(1)}]$, ..., $[c^{(m)}]$ равны единице.

Аналогично организуются вычисления и по другим уравнениям.

4.4. ВЗАИМОСВЯЗИ СТРУКТУРНЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

4.4.10. Взаимосвязь компонентов структурных и количественных моделей, обеспечивающая комплексное решение задач определения возможной структуры объекта проектирования, расчет числовых величин, соответствующих параметров и выбор оптимальной структуры объекта, моделируется с помощью булевых матриц взаимосвязи структурных и количественных элементов моделей. В качестве структурных элементов выступают элементы и контуры изделия и производственной системы (с учетом структурных связей между ними), а количественные элементы выступают в виде расчетных формул и соотношений числовых значений параметров и т. п., образующих количественные массивы Φ_P.

4.4.20. Различают два вида матриц взаимосвязи: матрицы взаимосвязи количественных элементов с элементами проектируемого объекта и матрицы взаимосвязи количественных элементов с контурами проектируемого объекта. Например, для производственной системы эти матрицы имеют вид

$$\| c_{i(j)} \|_{\Phi_I, P} = [\Phi_p \times P],$$

где $c_{i(j)}=1$, если $P_j \in P$ влияет на выбор количественного элемента $\Phi \in \Phi$, и

$$\| c_{i(j)} \|_{\Phi_F, F(P)} = [\Phi_F \times F(P)],$$

где $c_{i(j)}=1$, если на выбор $\Phi_i \in \Phi_F$ влияет контур $F_j \in F(P)$.

4.4.30. Рассмотрим, например, структурную модель производственной системы, связанную с образованием отверстий под болты (рис. 3.3), и количественную модель расчета штучного времени при выполнении этих операций. Штучное время при сверлении рассчитывается по формуле вида

$$t_{шт} = a_1 n^{\alpha_1} d^{\alpha_2} l^{\alpha_3} + a_2 N^{\alpha_4} + a_3 N^{\alpha_5},$$

при рассверливании:

$$t_{шт} = b_1 n^{\beta_1} d^{\beta_2} l^{\beta_3} + b_2 N^{\beta_4} + b_3 N^{\beta_5},$$

при зенкеровании:

$$t_{шт} = k_m \cdot n^{\gamma_1} d^{\gamma_2} l^{\gamma_3} Пр^{\gamma_4} + c_2$$

и т. п. В этих формулах: a, b, c, α, β, γ — числовые коэффициенты; d — диаметр обрабатываемого отверстия; n — количество обрабатываемых отверстий; N — количество деталей в партии; $Пр$ — величина снимаемого припуска; k_m — коэффициент зависящий от прочности материала детали.

4.4.40. Выбор той или иной формулы для расчета $t_{шт}$ зависит от состава элементов технологической системы P; матрица связей $[\Phi_P \times P]$ элементов P и набора Φ_P показана на рис. 4.3. Величины числовых коэффициентов, входящих в конкретную формулу $t_{шт}$, зависят от марки материала детали, величины диаметра пред-

τ_1	τ_2	τ_3	⋯	π_7	π_8	⋯	π_{10}	π_{11}	⋯	Набор Φ_P
●				●			●			$t_{шт}=a_1 n^{\alpha_1} d^{\alpha_2} t^{\alpha_3}+a_2 N^{\alpha_4}+a_3 N^{\alpha_5}$
	●			●			●			$t_{шт}=b_1 n^{\beta_1} d^{\beta_2} t^{\beta_3}+b_2 N^{\beta_4}+b_3 N^{\beta_5}$
		●			●		●			$t_{шт}=k_m n^{\delta_1} d^{\delta_2} t^{\delta_3} \Gamma_p^{\delta_4}+C_2$

Рис. 4.3. Матрица связи элементов технологической системы с формулами расчета штучного времени

варительного и окончательного отверстия и других контуров изделия и технологической системы. Такая зависимость описывается матрицей вида $[\Phi_F \times F(P)]$. Фрагмент подобной матрицы для операций сверления показан на рис. 4.4. Выбор той или иной формулы в матрице (рис. 4.4) зависит не только от значений кон-

	Марка материала: цветной сплав	Марка материала: углеродистая сталь	Марка материала: высокопрочная сталь	Диаметр предварительного отверстия $d \leqslant (мм)$: 3	5	7	8	10	16	Диаметр окончательного отверстия $d \leqslant (мм)$: 10	15	20
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}
$t_{шт1}$	●			●	●		●			●	●	●
$t_{шт2}$	●					●		●	●	●	●	●
$t_{шт3}$		●		●	●		●			●	●	●
$t_{шт4}$		●				●		●	●	●	●	●
$t_{шт5}$			●	●	●		●			●	●	●

а

$t_{шт}$	a_1	a_2	a_3	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5
$t_{шт1}$	0,026	0,05	0,07	1	0,21	0,50	1	—1
$t_{шт2}$	0,027	0,05	0,07	1	0,28	0,43	1	—1
$t_{шт3}$	0,025	0,05	0,07	1	0,26	0,57	1	—1
$t_{шт4}$	0,022	0,05	0,07	1	0,32	0,51	1	—1
$t_{шт5}$	0,025	0,05	0,07	1	0,26	0,76	1	—1

б

Рис. 4.4. Матрица связи контуров технологической системы с формулами расчета штучного времени (*а*), и таблица величин числовых коэффициентов (*б*)

туров $F(P)$, но и от их логической взаимосвязи; эта взаимосвязь описывается следующими логическими отношениями:

для нечетных строк матрицы

$$t_{шт}=(F_1 \nabla F_2 \nabla F_3) \wedge ((F_4 \wedge F_{10}) \vee (F_5 \wedge F_{11}) \vee (F_7 \wedge F_{12})),$$

для четных строк матрицы

$$t_{шт}=(F_1 \nabla F_2 \nabla F_3) \wedge ((F_6 \wedge F_{10}) \vee (F_8 \wedge F_{11}) \vee (F_9 \wedge F_{12})).$$

4.4.50. Величины числовых коэффициентов, входящих в формулы $t_{шт}$, приведены на рис. 4.4. Таким образом, матрицы (рис. 4.3) и (рис. 4.4) обеспечивают системную связанность структурной модели (рис. 3.3) с количественной моделью расчета штучного времени.

5. АДАПТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

5.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ АДАПТАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

5.1.10. В соответствии с принципами создания САПР для решения одних и тех же задач проектирования могут применяться различные методы в зависимости от особенности изделий, специфики их производства и состава технических средств проектирования. Осуществить это позволяет адаптация математических моделей и алгоритмов в иерархической системе математического моделирования ИСТРА.

5.1.20. Виды адаптации математических моделей и алгоритмов определяются:

изменением системы, в которой функционирует проектируемый объект;

использованием различных средств вычислительной техники;

включением в математическое обеспечение САПР моделей и алгоритмов, разработанных в других системах моделирования.

5.1.30. Адаптация математических моделей и алгоритмов к изменившимся условиям проектирования позволяет существенно сократить сроки создания и проведения модификации САПР, и повышать эффективность автоматизированного проектирования.

5.2. АДАПТАЦИЯ ТИПОВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

5.2.10. Изменения системы, в которой функционирует проектируемый объект, наиболее наглядно проявляются на примере производственной системы.

5.2.11. Модель производственной системы создается для моделирования определенных производственных условий при выпуске изделий определенного типа. При изменении производственных условий или типа выпускаемых изделий возникает необходимость адаптации модели производственной системы. Адаптация типовых математических моделей выполняется с помощью корректировки информационного наполнения моделей.

5.2.20. Корректировка модели производственной системы осуществляется для приведения модели в соответствие с существующими или планируемыми производственными условиями предприятия.

5.2.21. Модель производственной системы корректируется в случае изменения состава элементов производственной системы или в случае их модернизации, изменяющей технологические возможности, описываемые в терминах контуров.

5.2.22. Адаптация модели производственной системы выполняется с помощью различных сочетаний следующих элементарных корректировок:

изменение состава элементов производственной системы и технологических операторов (включение или исключение) при неизменном составе контуров;

изменение состава контуров при неизменном составе технологических операторов и элементов производственной системы;

изменение состава элементов производственной системы, технологических операторов и состава контуров;

изменение взаимосвязи технологических операторов и элементов производственной системы.

5.2.30. Изменение состава элементов производственной системы и технологических операторов при неизменном составе контуров выполняется в тех случаях, когда технологические возможности вновь вводимых элементов не выходят за пределы существующего состава контуров.

5.2.31. При включении нового элемента производственной системы корректировка модели выполняется следующим образом:

в матрицу контуров добавляется новая строка, соответствующая включаемому элементу;

строка заполняется единицами в разрядах, соответствующих реализуемым контурам;

задаются связи включаемого элемента с остальными элементами модели:

а) в табличных моделях — упорядочением строк;

б) в сетевых моделях — обозначением связей в графе связи;

в) в перестановочных моделях — изменением условий предшествования и следования.

5.2.32. При исключении элемента модели производственной системы корректировка модели выполняется следующим образом:

строка, соответствующая исключаемому элементу, заполняется нулями;

корректируются связи оставшихся элементов модели методами, аналогичными рассмотренным в п. 5.2.31.

5.2.40. Корректировка модели производственной системы с изменением состава контуров выполняется в тех случаях, когда модернизация элементов производственной системы приводит к расширению технологических возможностей, выходящих за рамки ранее существовавшего состава контуров модели.

5.2.41. При изменении состава контуров в матрицу состава контуров добавляются столбцы, соответствующие новым контурам. В этих столбцах проставляются единицы на пересечении со строками, соответствующими элементам производственной системы, которые могут реализовать вновь вводимые контуры.

5.2.50. Корректировка модели производственной системы при одновременном изменении состава элементов производственной системы, технологических операторов и состава контуров основана на изменении состава строк и столбцов матрицы, состава контуров рассмотренными выше методами.

5.2.60. Адаптация моделей производственной системы при изменении производственных условий может выполняться без изменения состава элементов модели и состава контуров только за счет корректировки взаимосвязи технологических операторов и элементов производственной системы.

5.2.61. Корректировка взаимосвязи сводится к заданию новых, прежде несуществующих связей (см. п. 5.2.31) и удалению нарушаемых связей.

5.3. АДАПТАЦИЯ ТИПОВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

5.3.10. Применяемые для автоматизации проектирования средства вычислительной техники отличаются друг от друга многими характеристиками. Применение типовых математических моделей позволяет разработать математическое обеспечение САПР относительно независимым от технического и программного обеспечений. Однако такие характеристики средств вычислительной техники, как объем оперативной памяти, быстродействие и способы представления информации в оперативной памяти накладывают некоторые ограничения на разрабатываемые или адаптируемые математические модели.

5.3.11. Адаптация реальных математических моделей под конкретные средства вычислительной техники заключается в изменении размерностей моделей и выполнении преобразований с учетом характеристик вычислительных средств, не нарушая состава и структурных связей элементов моделей.

5.3.20. Адаптация математических моделей при изменении объема оперативной памяти выполняется за счет разбиения модели на блоки, которые можно разместить во внешней памяти.

5.3.21. В процессе проектирования выполняется последовательная загрузка блоков из внешней памяти в оперативную, что позволяет существенно снизить объем потребной оперативной памяти.

5.3.22. При разбиении модели на блоки появляется необходимость разработки укрупненной обобщенной модели для организации связей между блоками и синтеза проектного решения из частей, получаемых при обработке различных блоков моделей.

5.3.30. Адаптация математических моделей при уменьшении быстродействия и ограничении на время проектирования может выполняться за счет замены типовой модели высшего класса совокупностью моделей низших классов. Например, сетевую математическую модель можно представить совокупностью табличных моделей.

5.3.31. При такой адаптации за счет повторения структурных элементов модели для упрощения структурных связей происходит значительное увеличение потребной внешней памяти.

5.3.40. Способы представления информации в оперативной памяти не затрагивают структурных свойств моделей. Их необходимо учитывать при определении размерностей и точности вычислений.

5.4. АДАПТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ, СОЗДАННЫХ В ДРУГИХ СИСТЕМАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ

5.4.10. Адаптация различных моделей и алгоритмов, созданных в других системах моделирования, осуществляется путем равносильных преобразований, при которых сохраняется физическое содержание, а изменяется только форма представления и описания действующих факторов.

5.4.11. При адаптации выполняется преобразование моделей в типовые табличные, сетевые и перестановочные модели. При этом состав структурных элементов моделей и связи между ними описываются по правилам построения выбранного класса типовых математических моделей.

5.4.12. Например, такие задачи проектирования технологических процессов, как расчет припусков на механическую обработку, выбор оборудования и инструмента, определение маршрута обработки поверхностей и т. п., часто решаются по информационно-логическим таблицам или с помощью алгоритмов на дереве решений.

5.4.13. Средствами системы ИСТРА методы решения по информационно-логическим таблицам могут быть сведены к проектированию по табличным моделям. Так, на рис. (5.1, *а*) приведена таблица выбора вида инструмента для контроля диаметра цилиндрической поверхности, а на рис. (5.1, *б*) — один из возможных алгоритмов поиска решений по этой таблице [7]. Искомые решения образуют множество проектных решений.

Информационно-логическая таблица и алгоритм (рис. 5.1) могут быть преобразованы в граф — дерево поиска решений.

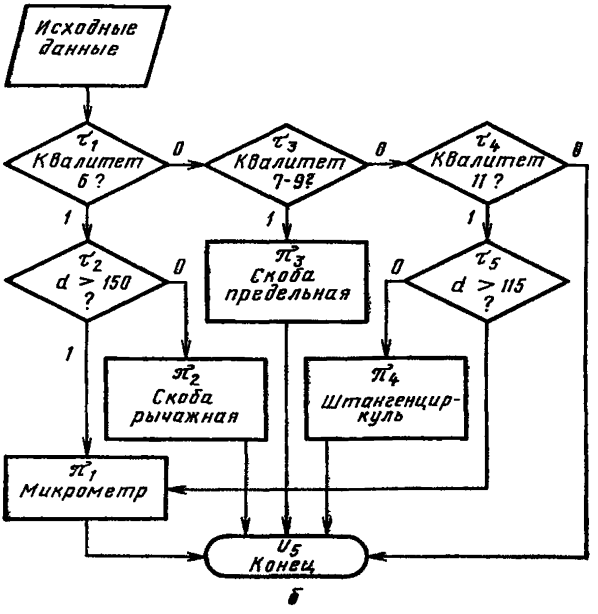
5.4.14. Преобразование заключается в построении древовидной структуры проектных операторов $\tau_k \in T$, к которым присоединяются в качестве висячих вершин проектные решения $\vartheta_k \in \Theta$. Общее количество N_ϑ проектных решений в дереве поиска решений равно

$$N_\vartheta = \left(\sum_{k=1}^{n} S_k^+(\tau_k) \right) - (n-1), \qquad (5.1)$$

где $S^+(\tau_k)$ — число дуг, исходящих из τ_k; n — количество проектных операторов $\tau_k \in T$.

Класс точности	Квалитет 6		Квалитет 7-9	Квалитет 11	
Величина диаметра	$d > 150$	$d \leqslant 150$		$d > 115$	$d \leqslant 115$
Тип измерительного инструмента	Микрометр	Скоба рычажная	Скоба предельная	Микрометр	Штангенциркуль

а



б

Рис. 5.1. Выбор вида измерительного инструмента:

а—одновходовая таблица выбора вида инструмента; *б*—алгоритм поиска решения по таблице

5.4.15. Преобразование дерева поиска решений в табличную модель заключается в построении матрицы контуров с контурами $F(A)$, строки которой соответствуют множеству проектных решений; кружками в матрице помечены элементы $c_{i(j)}=1$, соответствующие проектным решениям — инструментам π_k, в которых $\pi_k=1$. Каждому F_j соответствует набор истинностных значений контуров $F(A)$, определяемых при прохождении всех путей от корневой вершины τ_1 до π_k в дереве; истинностные значения контуров, не рассматриваемых при прохождении всех этих путей, принимаются $F_j=0$.

5.4.16. Приведенный пример показывает, что методы решения задач автоматизированного проектирования по таблицам и деревьям поиска решений легко адаптируются в иерархической системе моделирования и приводятся к табличным моделям.

5.4.17. Адаптация более сложных методов проектирования сетевыми и перестановочными моделями иерархической системы моделирования также не встречает принципиальных затруднений.

6. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИСТРА В САПР

6.1. ОСОБЕННОСТИ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСТРА

6.1.10. Отличительной особенностью системы ИСТРА является полное отделение математических моделей и алгоритмов проектирования от семантического содержания данных о конкретных объектах проектирования, что позволяет использовать одни и те же математические модели и алгоритмы для проектирования разнородных объектов. Эта особенность системы ИСТРА делает весьма слабыми ограничения на способы представления и языки описания данных, используемых в информационном и лингвистическом обеспечении САПР.

6.1.11. Информационное обеспечение САПР в системе ИСТРА строится по блочному принципу—компоненты информационного обеспечения соответствуют компонентам математического обеспечения; тем самым математические модели и данные, описывающие смысловое содержание моделей применительно к конкретным объектам проектирования, оказываются органически взаимосвязанными друг с другом и с модульной системой программного обеспечения (рис. 6.1.).

6.1.12. Лингвистическое обеспечение САПР разделяется на два слоя — внешний слой описания данных на произвольных языках и внутренний слой описания данных в системе ИСТРА на языке этой системы.

6.1.20. Язык системы ИСТРА — не что иное, как математический язык, используемый для описания типовых математических моделей (см. разделы 2, 3). При использовании этого языка в лингвистическом обеспечении САПР к нему добавляется унифицированный алфавит и некоторые правила построения идентификаторов.

6.1.21. Для обозначения принадлежности величин к различным уровням абстрагирования используются следующие индексы:

S — теоретико-множественная величина;

L — логическая величина;

N — количественная величина;

W — лингвистическая величина.

Лингвистическими величинами являются элементы естественного языка, используемые при описании объекта моделирования.

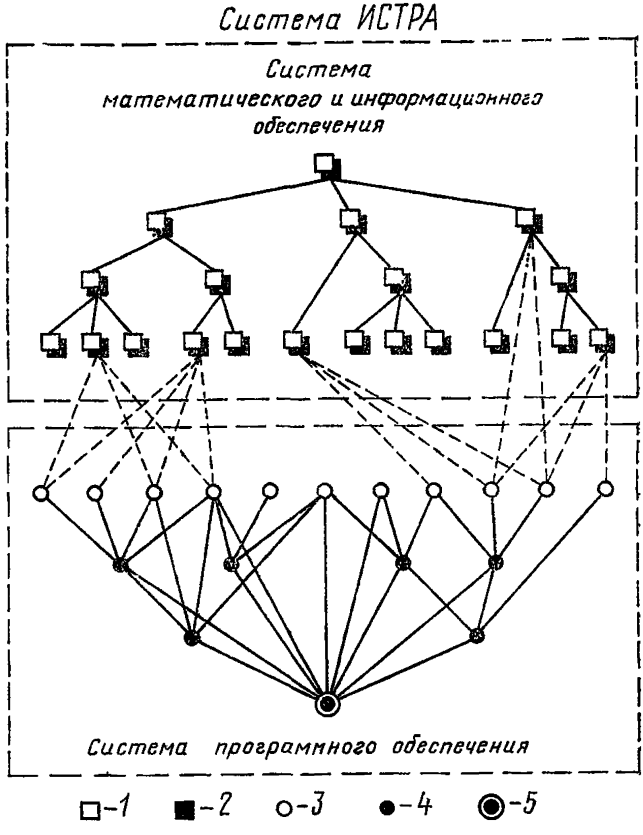


Рис. 6.1. Схема структуры математического информационного и программного обеспечения САПР в системе ИСТРА:

1—элемент математического обеспечения; *2*—элемент информационного обеспечения; *3*—программный модуль; *4*—монитор пакета прикладных программ; *5*—монитор системы программного обеспечения

6.1.22. Основными математическими объектами в системе ИСТРА являются:

S — множество;

V — вектор (упорядоченное одномерное множество определенной размерности);

M — матрица (упорядоченное двухмерное множество определенной размерности, где элементы строк и (или) столбцов связаны некоторым отношением);

M — таблица (двухмерное множество);

G — граф;

R — отношение (функция, формула).

6.1.23. Для описания математических объектов с учетом уровня абстрагирования рассматриваемых величин используются два символа:

SS — множество теоретико-множественных величин;
SL — множество (список) логических величин;
SN — множество (список) количественных величин;
SW — множество (список) лингвистических величин;
VS — вектор теоретико-множественных величин;
VL — логический вектор (булев вектор);
VN — числовой вектор;
VW — вектор лингвистических величин (лингвистический вектор);
MS — матрица теоретико-множественных величин (подмножество декартова произведения множеств);
ML — матрица логических величин (булева матрица);
MN — числовая матрица (таблица);
MW — лингвистическая матрица;
GS — граф (классический — граф Бержа);
GL — логический граф;
GN — числовой граф;
GW — лингвистический граф;
RS — теоретико-множественное отношение (формула);
RL — логическое отношение (формула, функция);
RN — количественное отношение (формула, функция);
RW — лингвистическое отношение (формула).

6.1.23. Наиболее часто используются следующие матрицы и таблицы:

а) матрица теоретико-множественных величин, соответствующих бинарному отношению между элементами множества A:

$$MS \to \| c^S_{i(j)} \|_A = [A \times A]. \qquad (6.1)$$

Здесь $c^S_{i(j)} = (a_i, a_j)$ — пара, соответствующая бинарному отношению между элементами множества A (рис. 6.2, *б*);

б) булева матрица бинарного отношения между элементами множества A:

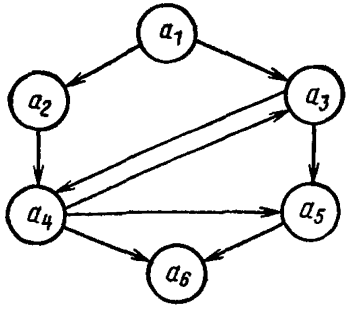
$$ML \to \| c^L_{i(j)} \|_A = [A \times A]. \qquad (6.2)$$

Здесь $c^L_{i(j)} = 1$, если бинарное отношение между a_i и a_j существуют.

Матрица $\|c^L_{i(j)}\|_A$ может рассматриваться так же как матрица смежности вершин графа $G = (A, C)$, где $C \ni c_{i(j)} = 1$ (см. рис. 6.2 *а, в*);

в) матрица числовых значений (весов) дуг графа

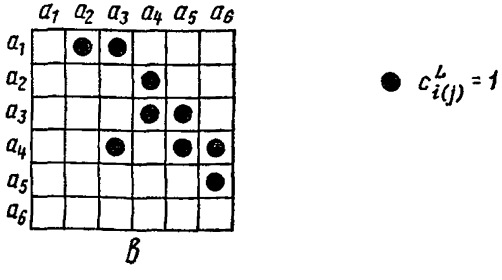
$$MN \to \| c^N_{i(j)} \|_A = [A \times A]. \qquad (6.3)$$



а

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
a_1		(a_1, a_2)	(a_1, a_3)			
a_2				(a_2, a_4)		
a_3				(a_3, a_4)	(a_3, a_5)	
a_4			(a_4, a_3)		(a_4, a_5)	(a_4, a_6)
a_5						(a_5, a_6)
a_6						

б



в

Рис. 6.2. Граф (*а*) и матрицы теоретико-множественных (*б*) и булевых (*в*) величин

Здесь $c^N_{i(j)}$ — числовое значение дуги графа (рис. 6.3, *а*).

В некоторых случаях применяются матрицы или таблицы числовых значений величин вида

$$MN \to \| c^N_{i(j)} \|_{N_1, N_2} = [N_1 \times N_2], \tag{6.4}$$

зависящих от других числовых величин (рис. 6.3, *б*);

г) лингвистическая таблица вида

$$MW \to \| c^W_{i(j)} \|_{W_1, W_2} = [W_1 \times W_2]. \tag{6.5}$$

Здесь $c^W_{i(j)}$ — лингвистическая величина (рис. 6.3, *в*).

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
a_1	0	18	12	0	0	0
a_2	0	0	0	6	0	0
a_3	0	0	0	8	4	0
a_4	0	0	7	0	9	3
a_5	0	0	0	0	0	11
a_6	0	0	0	0	0	0

а

Ширина узла N_2 в мм

Ширина узла N_1 в мм, до	500	1000	1500	2000
1000	0,22	0,24	0	0
2000	0,25	0,27	0,30	0,33
3000	0,27	0,29	0,33	0,36
5000	0,29	0,33	0,36	0,40

Здесь $c^N_{i(j)}$ — время в мин

б

W_2 = { АМц Д16Т 30ХГСА}

W_1				
	АрДЭС	Удовл.	Неудовл.	Хор.
	ДЭС	Неуд.	Неуд.	Хор.
	ТЭС	Хор.	Удовл.	Удовл.
	КАС	Хор.	Удовл.	Хор.

в

Рис. 6.3:

а—матрица числовых значений дуг графа (рис. 2.6, *а*); *б*—таблица числовых значений оперативного времени правки узла молотком; *в*—лингвистическая таблица свариваемости некоторых материалов

6.1.30. При моделировании объекта важное значение имеет формализованное представление связей элементов и контуров этого объекта с логическими, количественными и лингвистическими величинами, а также с различными отношениями.

6.1.31. Связь элементов объекта A и его контуров с количественными величинами представляется либо непосредственно, либо с применением матриц связи элементов A с количественными величинами вида

$$ML\rightarrow \| c^L_{i(j)} \|_{N,A}=[N\times A] \tag{6.6}$$

и матриц связи контуров $F(A)$ с количественными величинами вида

$$ML\rightarrow \| c^L_{i(j)} \|_{N,F(A)}=[N\times F(A)]\,. \tag{6.7}$$

Эти связи могут быть представлены как связи матрицы контуров с соответствующими векторами количественных величин (рис. 6.4).

6.1.32. Связь элементов A и контуров $F(A)$ с лингвистическими величинами представляется либо непосредственно, либо с помощью матриц связи вида

$$ML\rightarrow \| c^L_{i(j)} \|_{W,A}=[W\times A]; \tag{6.8}$$

$$ML\rightarrow \| c^L_{i(j)} \|_{W,F(A)}=[W\times F(A)]\,. \tag{6.9}$$

Эти связи схематически представлены на рис. 6.5.

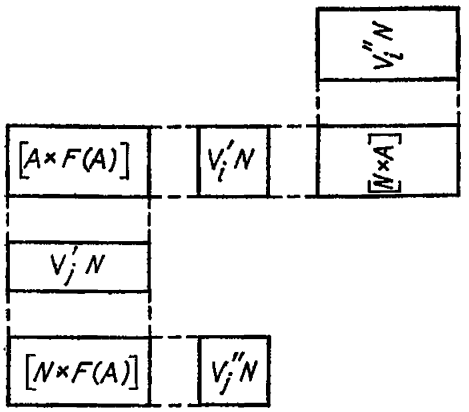


Рис. 6.4:

$V_i'N$, $V_i''N$—векторы количественных величин, связанных с элементами A; $V_j'N$, $V_j''N$—векторы количественных величин, связанных с контурами $F(A)$; $ML\to\| C^{L}_{i(j)} \|_{N,A}=[N\times A]$—матрица связи элементов A с количественными величинами; $ML\to\| C^{L}_{i(j)} \|_{N,F(A)}=[N\times F(A)]$ — матрица связи контуров $F(A)$ с количественными величинами

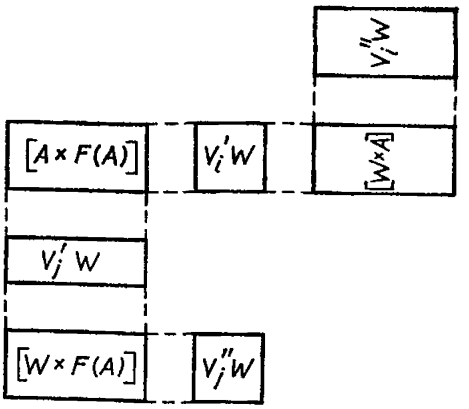


Рис. 6.5:

$V_i'W$, $V_i''W$—векторы лингвистических величин, связанных с элементами A; $V_j'W$, $V_j''W$—векторы лингвистических величин, связанных с контурами $F(A)$; $ML\to\| C^{L}_{i(j)} \|_{W,A}=[W\times A]$—матрица связи элементов A с лингвистическими величинами; $ML\to\| C^{L}_{i(j)} \|_{W,F(A)}=[W\times F(A)]$—матрица связи контуров $F(A)$ с лингвистическими величинами

6.1.33. Связь элементов A и контуров $F(A)$ с отношениями R также представляется либо непосредственно, либо с помощью матриц связи вида

$$ML\to\| c^{L}_{i(j)} \|_{R,A}=[R\times A]; \qquad (6.10)$$

$$ML\to\| c^{L}_{i(j)} \|_{R,F(A)}=[R\times F(A)]. \qquad (6.11)$$

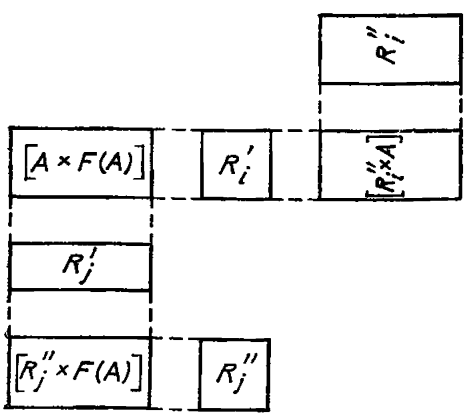


Рис. 6.6:

R_i', R_i''—отношения, связанные с элементами A; R_j', R_j''—отношения, связанные с контурами $F(A)$; $[R\times A]$—матрица связи элементов A с отношениями R; $[R\times F(A)]$—матрица связи контуров $F(A)$ с отношениями R

Эти связи схематически представлены на рис. 6.6.

6.1.40. Словесные идентификаторы компонентов средств обеспечения САПР образуются в системе ИСТРА только из слов или частей слов русского языка.

6.1.41. При описании словесных идентификаторов используются только следующие буквы русского алфавита (справа приведены соответствующие им буквы латинского алфавита):

А—A	*И—I*	*П—P*
Б—B	*Й—J*	*Р—R*
В—W	*К—K*	*С—S*
Г—G	*Л—L*	*Т—T*
Д—D	*М—M*	*У—U*
Е—E	*Н—N*	*Ф—F*
З—Z	*О—O*	*Ц—C*

Перевод описания идентификатора с русского языка на любой другой язык осуществляется путем замены букв русского алфавита на буквы латинского алфавита, указанные выше.

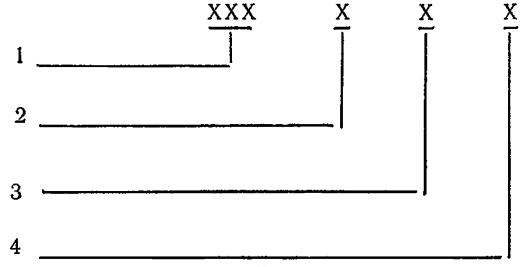
6.1.42. Допускается использование латинских буквосочетаний, близких по звучанию к следующим русским буквам

Я—JA, Ю—JU, ШТ—ST

6.1.50. Взаимосвязь произвольных языков описания данных из внешнего слоя лингвистического обеспечения САПР с языком системы ИСТРА осуществляется с помощью соответствующих таблиц и матриц вида (6.1)—(6.11).

6.2. КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСТРА

6.2.10. Основными компонентами математического обеспечения САПР являются математические модели и алгоритмы проектирования. Для обозначения математических моделей системы ИСТРА принят шестисимвольный код, включающий в себя:



1 — буквенное обозначение типа (класса) модели; *2* — буквенное обозначение формы связи свойств (контуров) элементов модели; *3* — числовое обозначение номера класса (подкласса) модели; *4* — буквенное обозначение вида (разновидности) модели.

6.2.20. Все модели разделяются на следующие типы:

ЛИМ — лингвистические,
СТМ — структурные,
КОМ — количественные.

Виды данных, входящих в модели разных типов, показаны на рис. 6.7.

6.2.30. Структурные математические модели разделяются на сочетательные и упорядочивающие — табличные, сетевые и перестановочные; классы этих моделей определены булевыми матрицами (3.15), (3.16) — см. п. 3.1.

6.2.31. Форма связи контуров элементов структурной модели может быть дизъюнктивной (Д) или конъюнктивной (К) — см. п. 3.3.

6.2.32. Кодирование сочетательных и упорядочивающих моделей в зависимости от их класса и формы связи контуров показано на рис. 6.8. Табличные модели ТАМД2 и ТАМК2 соответствуют классу $S_{7(1)}$ булевой матрицы (3.17), а сетевые модели СЕМД3 и СЕМК3 — классам $S_{7(2)}$, $S_{7(3)}$ булевой матрицы (3.17).

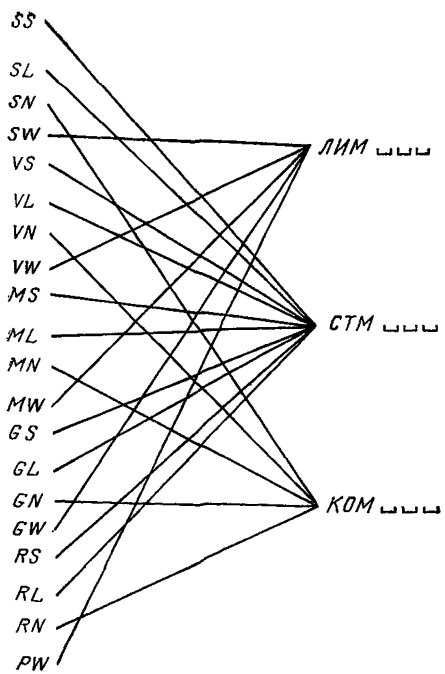


Рис. 6.7. Виды данных, входящих в модели разных типов

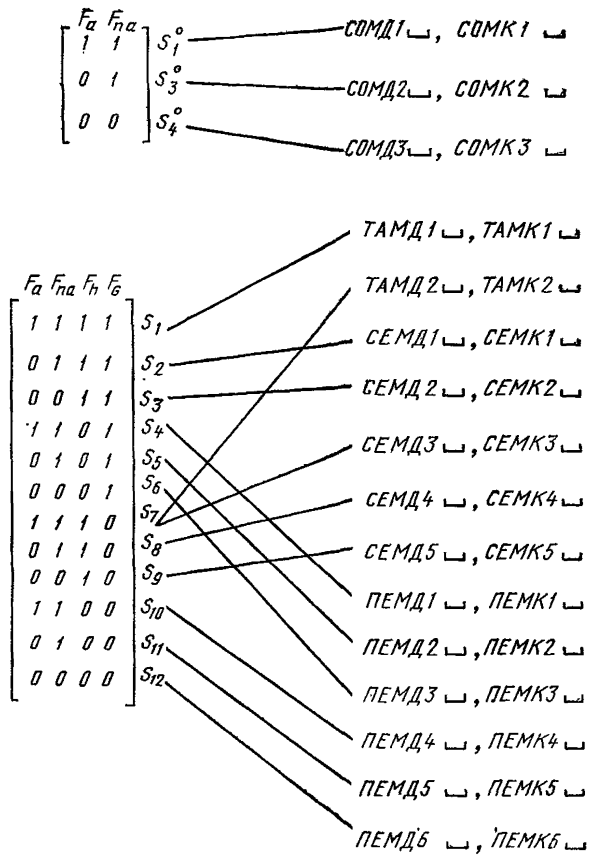


Рис. 6.8. Кодирование сочетательных (*а*) и упорядочивающих (*б*) типовых математических моделей

6.2.33. Вид (разновидность) структурной модели зависит от логических отношений между составами контуров модели порождающей среды и объекта проектирования, от способа задания исходных данных, от состава условий и ограничений, учитываемых в данной модели, и т. д.

6.3. ТАБЛИЧНЫЕ МОДЕЛИ

6.3.1. Табличная модель ТАМД1А

6.3.11. Объект A описывается составом контуров $F(A)$ в соответствии с логическим отношением вида (3.28). Для реализации контуров множества $F(A)$ имеется порождающая среда P, содержащая N элементов и M контуров. Требуется определить упорядоченное множество элементов порождающей среды P, которое является необходимым для перевода контуров $F(A)$ из исходного состояния в конечное.

6.3.12. Исходные данные:

1. Вектор $VL1$ логических переменных c_i, описывающих исходное состояние контуров множества $F(A)$ и принимающих значения:

$$c_i = \begin{cases} 1, \text{ если контур } F_i \text{ реализован до} \\ \text{воздействия элементов порожда-} \\ \text{ющей среды } P; \\ 0\text{—в противном случае.} \end{cases}$$

2. Вектор $VL2$ логических переменных c_i, описывающих конечное состояние контуров множества $F(A)$ и принимающих значения:

$$c_i = \begin{cases} 1, \text{ если контур из слия } F_i \text{ реализован;} \\ 0\text{—в противном случае} \end{cases}$$

6.3.13. Математическая модель представлена булевой матрицей $ML = [P \times F(P)]$, аналогичной (2.3). Строки матрицы ML упорядочены определенным образом, отвечающим условиям решаемой задачи проектирования.

6.3.14. Выходные данные: упорядоченное множество (список) SS состава номеров элементов порождающей среды P, необходимой для перевода контуров множества $F(A)$ из состояния, описанного вектором $VL1$, в состояние, соответствующее вектору $VL2$.

6.3.15. Алгоритм обработки модели ТАМД1А построен на последовательном переборе строк матрицы ML и проверки их на реализацию контуров, включенных в вектор $VL2$. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.9:

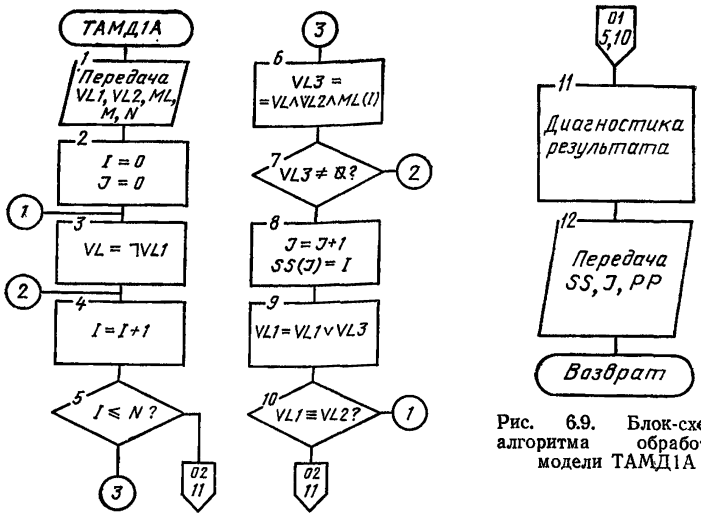


Рис. 6.9. Блок-схема алгоритма обработки модели ТАМД1А

1. Передача на вход векторов *VL1* и *VL2*, матрицы *ML*, а также параметров их размеров *M*, *N*.

2. Установка начальных значений счетчиков: *I* — счетчик номеров строк матрицы *ML*, *J* — счетчик номеров строк матрицы *ML*, вошедших в решение.

3. Формирование рабочего вектора *VL*, описывающего состояние реализованных контуров. Логическая переменная c_i вектора *VL* принимает следующие значения:

$$c_i = \begin{cases} 0, \text{ если контур } F_i \text{ реализован;} \\ 1 — \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Вектор *VL* определяется как инверсия вектора *VL1*.

4 и 5. Определение следующего номера строки матрицы *ML* и проверка выхода за пределы модели. Если номер строки находится в пределах матрицы *ML* — переход к блоку *6*. В противном случае — управление передается в блок *11* диагностики результата обработки модели.

6. Определение состава контуров, который реализует элемент порождающей среды *P*, имеющий состав реализуемых контуров, соответствующий строке матрицы *ML* с номером *1*. Этот состав описывается вектором *VL3*.

7. Проверка на условие реализации 1-м элементом хотя бы одного контура. В том случае, когда вектор *VL3* содержит одну или несколько логических переменных, значения которых отличны от нуля, — элемент, соответствующий 1-й строке матрицы *ML*, включается в решение. В противном случае — выполняется возврат в блок *4* определения следующего номера строки.

8. Запоминание номера строки матрицы *ML*.

9. Определение состава реализованных контуров. В вектор *VL1* добавляются контуры вектора *VL3*.

10. Проверка реализации всех контуров в векторе *VL2*. Если вектор *VL1* эквивалентен вектору *VL2*, — переход к 11. Если вектор *VL1* содержит еще нереализованные контуры вектора *VL2*, т. е. $VL1 \neq VL2$ возврат в блок *3*.

11. Диагностирование результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода обработки модели с соответствующими признаками:

реализованы все контуры вектора *VL2;*

реализована часть контуров вектора *VL2*.

12. Передача результата проектирования.

Пример обработки модели ТАМД1А приведен на рис. 6.10.

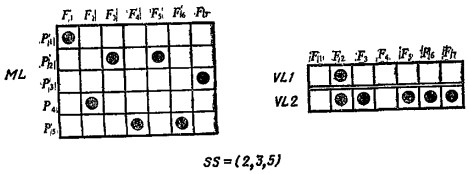


Рис. 6.10. Пример обработки модели ТАМД1А

6.3.2. Табличная модель ТАМД1Б

6.3.21. Объект *A* описывается составом контуров *F(A)* в соответствии с логическим отношением вида (3.32). Для реализации контуров множества *F(A)* имеется порождающая среда *P*, содержащая *N* элементов и *M* контуров. Требуется определить упорядоченное множество элементов порождающей среды *P*, которое является необходимым для перевода контуров *F(A)* из исходного состояния в конечное.

6.3.22. Исходные данные:

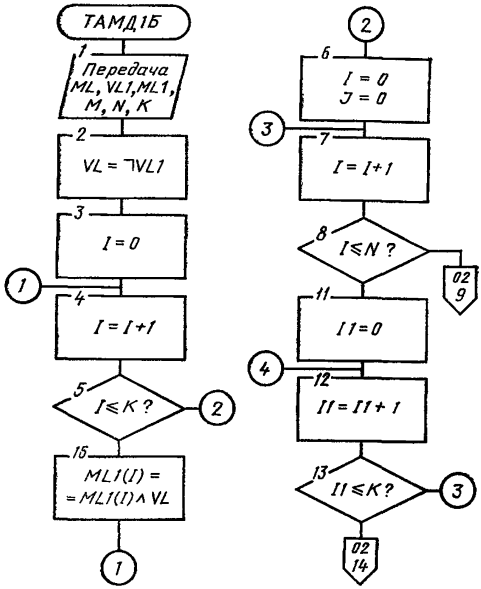
1. Вектор *VL1* логических переменных c_i, описывающих исходное состояние контуров множества *F(A)*.

2. Векторы *VL2* логических переменных c_i, описывающих конечное состояние контуров множества *F(A)*. Векторы *VL2* общим числом *K* объединяются в булевую матрицу *ML1*, имеющую размерность $M \times K$, где *M* — число контуров.

Истинностные значения логических переменных c_i векторов *VL1, VL2* аналогичны п. 6.3.12.

6.3.23. Математическая модель представлена булевой матрицей $ML = [P \times F(P)]$, аналогичной (2.3). Строки матрицы *ML* упорядочены определенным образом, отвечающим условиям решаемой задачи проектирования.

6.3.24. Выходные данные: упорядоченное множество (список) *SS* состава номеров элементов порождающей среды *P*, необходимой для перевода контуров множества *F(A)* из состояния, описанного вектором *VL1*, в состояние, соответствующее вектору *VL2*.



а

6.3.25. Алгоритм обработки модели ТАМДІБ построен на последовательном переборе строк матрицы *ML* и проверки их на реализацию контуров, включенных в вектор *VL2*. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.11.

1. Передача на вход матрицы *ML*, *ML1*, вектора *VL1*, а также параметров их размеров *M*, *N*, *K*.

2. Формирование рабочего вектора *VL*, описывающего состояние реализованных контуров. Логическая переменная c_i вектора *VL* принимает следующие значения:

$$c_i = \begin{cases} 0, \text{ если контур } F_i \text{ реализован;} \\ 1 — \text{в противном случае.} \end{cases}$$

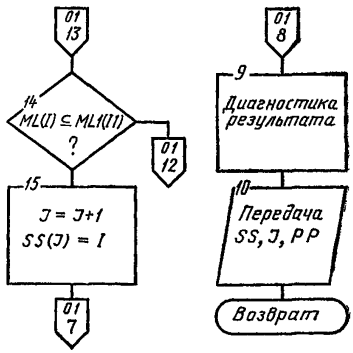
Вектор *VL* определяется как инверсия *VL1*.

3. Установка *I* — счетчика номеров векторов *VL2* в матрице *ML1* в нулевое значение.

4 и 5. Определение состава следующего номера строки матрицы *ML1* и проверка выхода его за пределы матрицы. Если номер

строки находится в пределах матрицы — переход к блоку *16*. В противном случае управление передается в блок *6*.

6. Установка начальных значений счетчика *I* — номеров строк матрицы *ML*, и счетчика *J* — номеров строк матрицы *ML*, вошедших в решение.



б

Рис. 6.11 (*а, б*). Блок-схема алгоритма обработки модели ТАМД1Б

7 и 8. Определение следующего номера строки матрицы *ML* и проверка выхода за пределы модели. Если номер строки находится в пределах матрицы *ML* — переход в блок *11;* в противном случае управление передается в блок диагностики.

9. Диагностирование результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода обработки модели с соответствующими признаками:

реализованы все контуры каждого вектора *VL2;*

не реализован хотя бы один контур какого-либо вектора *VL2.*

10. Передача результата проектирования.

11. Установка *I1* — счетчика номеров строк *ML1* в нулевое значение.

12 и 13. Определение следующего номера строки матрицы *ML1* и проверка выхода за пределы матрицы. Если номер строки находится в пределах матрицы *ML1* — переход в *14* блок; в противном случае — переход в блок *7.*

14. Проверка на включение контуров строк матрицы $ML(I) \subseteq ML1(I1)$ в состав контуров строк матрицы *ML*. Если $ML(I) \subseteq ML(I1)$, выполняется переход к блоку *15*; в противном случае возврат в блок *12.*

15. Запоминание номера строки матрицы *ML.*

16. Определение состава контуров вектора *VL2,* подлежащих реализации.

Пример обработки модели ТАМД1Б приведен на рис. 6.12.

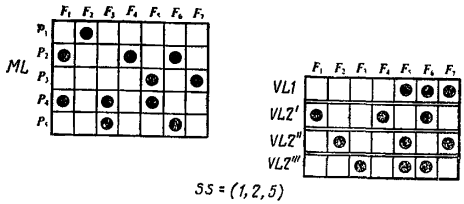


Рис. 6.12. Пример обработки модели ТАМД1Б

6.3.3. Табличная модель ТАМК1А

6.3.31. Объект А описывается составом контуров $F(A)$ в соответствии с логическим отношением вида (3.27). Для реализации контуров множества $F(A)$ имеется порождающая среда P, состоящая из N элементов и M контуров. Требуется определить упорядоченное множество элементов порождающей среды P, которое является необходимым для реализации контуров $F(A)$.

6.3.32. Исходные данные: вектор VL логических переменных c_i, описывающих состояние контуров объекта A, и принимающих значения:

$$c_i = \begin{cases} 1, \text{ если контур } F_i \text{ реализуется;} \\ 0 — \text{в противном случае} \end{cases}$$

6.3.33. Математическая модель представляется булевой матрицей $ML = [P \times F(P)]$, аналогичной (2.43). Строки матрицы ML упорядочены определенным образом, отвечающим условиям решаемой задачи проектирования. Строки матрицы ML связаны отношением вида (3.81).

6.3.34. Выходные данные: упорядоченное множество (список) SS состава номеров элементов порождающей среды P, достаточных для реализации контуров, описанных в векторе VL.

6.3.35. Алгоритм обработки модели ТАМК1А построен на последовательном переборе строк матрицы ML и проверки их на реализацию контуров, включенных в вектор VL. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.13.

1. Передача на вход вектора VL, матрицы ML, а также их размеров M, N.

2. Установка начальных значений I — счетчика номеров строк матрицы ML, и J — счетчика номеров строк матрицы ML, вошедших в решение.

3 и 4. Определение следующего номера строки матрицы ML и проверка выхода за пределы модели. Если номер строки находится в пределах матрицы ML — переход к блоку *7*; в противном случае управление передается в блок *5*.

5. Блок диагностирования результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускается три исхода обработки модели с соответствующими признаками:

реализованы все контуры вектора VL;

реализованы часть контуров вектора $VL2'$;

не реализован ни один контур вектора $VL2''$.

6. Передача результата проектирования.

7. Проверка условия на включение контуров вектора VL в состав контуров, реализуемых элементом порождающей среды P, соответствующего строке с номером I. Если $ML(I) \subseteq VL$ — переход к блоку *8*; в противном случае — возврат в блок определения следующего номера строки.

8. Запоминание номера строки матрицы ML.

Пример обработки модели ТАМК1А приведен на рис. 6.14.

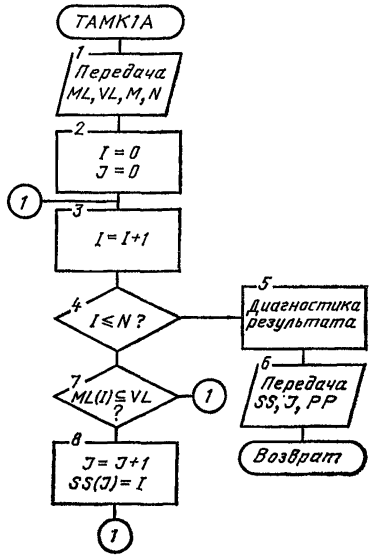


Рис. 6.13. Блок-схема алгоритма обработки модели ТАМК1А

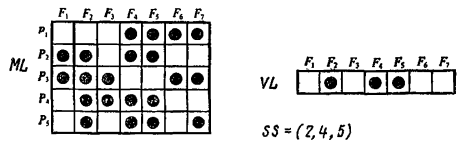


Рис. 6.14. Пример обработки модели ТАМК1А

6.3.4. Табличная модель ТАМК1Б

6.3.41. Объект A описывается составом контуров $F(A)$ в соответствии с логическим отношением вида (3.32). Для реализации контуров множества $F(A)$ имеется порождающая среда P, содержащая N элементов и M контуров. Требуется определить упорядоченное множество элементов порождающей среды P, которое является достаточным для реализации контуров множества $F(A)$.

6.3.42. Исходные данные: векторы VL логических переменных c_i, описывающих состояние контуров множества $F(A)$, разделен-

ных на группы в соответствии с условием (3.32). Логическая переменная c_i отдельного вектора VL принимает следующие значения:

$$c_i = \begin{cases} 1, \text{ если контур } F_i \text{ реализуется или реализация его не влияет на реализацию других контуров вектора } VL; \\ 0 — \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Векторы VL общим числом K объединяются в булевую матрицу $ML1$, имеющую размерность $M \times K$, где M — число контуров.

6.3.43. Математическая модель представляется матрицей $ML = [P \times F(P)]$, аналогичной (2.3). Строки матрицы ML упорядочены определенным образом, отвечающим условиям решаемой задачи проектирования. Строки матрицы ML связаны отношениями, описанными выражением (3.81).

6.3.44. Выходные данные: список SS состава номеров элементов порождающей среды P, достаточных для реализации контуров, описанных в векторах VL.

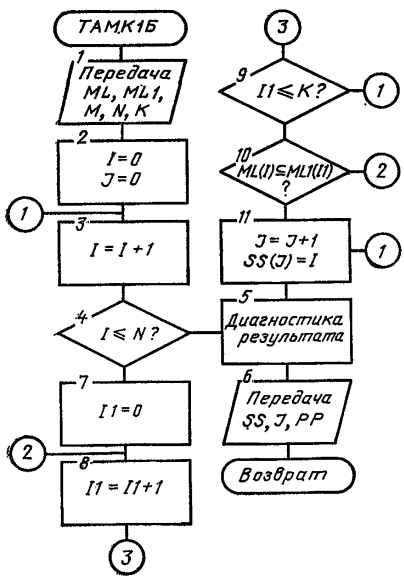


Рис. 6.15. Блок-схема алгоритма обработки модели ТАМК1Б

6.3.45. Алгоритм обработки ТАМК1Б построен на последовательном переборе строк матрицы ML и проверки их на реализацию контуров векторов VL в соответствии с условием (3.32). Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.15:

1. Передача на вход матриц ML, $ML1$, а также их размеров M, N, K.

2. Установка начальных значений I — счетчика номеров строк матрицы ML, и J — счетчика номеров строк матрицы ML, вошедших в решение.

3 и 4. Определение следующего номера строки матрицы ML и проверка выхода за пределы модели. Если номер строки находится в пределах матрицы ML — переход к блоку *7;* в противном случае управление передается в блок *5*.

5. Диагностирование результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускаются два исхода об-

работки модели с соответствующими признаками:

реализованы все контуры всех векторов *VL;*

реализована часть контуров векторов *VL.*

6. Передача результата проектирования.

7. Установка *I1* — счетчика векторов *VL* в нулевое значение.

8 и 9. Определение следующего номера вектора *VL* и проверка полноты их перебора. Если все векторы *VL* проверены — осуществляется возврат в блок увеличения счетчика номеров строк матрицы *ML*; в противном случае переход к блоку *10.*

10. Проверка условия на включение контуров вектора *VL,* представленного строкой матрицы *ML1,* в состав контуров, реализуемых элементом порождающей среды *P.* Это условие описывается выражением $ML(I) \subseteq \subseteq ML1(I1)$. Если условие выполняется — переход к блоку *11.* В противном случае, когда условие не выполняется, — возврат в блок *8.*

11. Запоминание номера строки матрицы.

Пример обработки модели ТАМК1Б приведен на рис. 6.16.

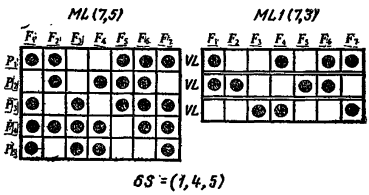


Рис. 6.16. Пример обработки модели ТАМК1Б

6.4. СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ

6.4.1. Сетевая модель СЕМД1А

6.4.11. Объект *A* описывается составом контуров *F(A)* в соответствии с логическим отношением вида (3.28). Для реализации контуров множества *F(A)* имеется порождающая среда *P,* содержащая *N* элементов и *M* контуров. Требуется определить все упорядоченные наборы элементов порождающей среды *P,* которые являются необходимыми и достаточными для перевода множества *F(A)* из исходного состояния в конечное. Число элементов, входящих в каждый упорядоченный набор, постоянно и равно *K.*

6.4.12. Исходные данные:

1. Вектор *VL1* логических переменных c_i, описывающих исходное состояние контуров множества *F(A).*

2. Вектор *VL2* логических переменных c_i, описывающих конечное состояние контуров множества *F(A).*

Истинностные значения логических переменных c_i векторов *VL1, VL2* аналогичны п. 6.3.12.

6.4.13. Математическая модель включает в себя матрицы *ML1* и *ML2.* Булева матрица $ML1 = [P \times F(P)]$ аналогична (2.3). Отношение порядка между элементами порождающей среды *P* описывается матрицей смежности $ML2 = [P \times P]$ вида (2.1). Булева матрица *ML2* описывает ориентированный ранжированный граф.

6.4.14. Выходные данные: матрица *MS* списков *SS* номеров

элементов порождающей среды P. Состав элементов, включенных в отдельный список $SS(J)$, необходим и достаточен для перевода контуров множества $F(A)$ из состояния, описанного вектором $VL1$, в состояние, соответствующее вектору $VL2$. Число элементов в списке постоянно и равно K. Общее число списков в матрице MS составляет J.

6.4.15. Алгоритм обработки модели СЕМД1А основан на построении в ранжированном ориентированном графе путей фиксированной длины. Построенные в графе пути проверяются на необходимость и достаточность по табличной модели ТАМД1А. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.17:

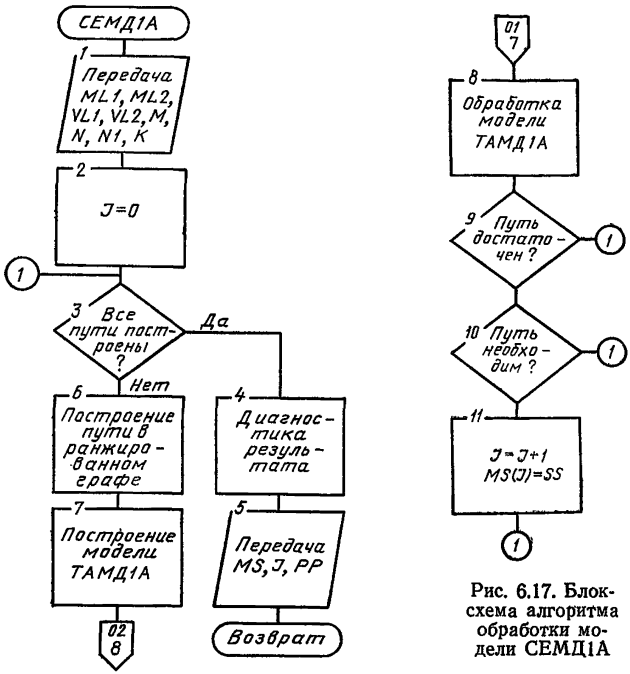


Рис. 6.17. Блок-схема алгоритма обработки модели СЕМД1А

1. Передача на вход векторов $VL1$ и $VL2$, матриц $ML1$ и $ML2$, а также их размеров M, N и длину путей K в графе.

2. Установка J — счетчика списков, являющихся решением, в нулевое значение.

3. Проверка возможности построения очередного пути в графе. Если все пути построены — переход в блок диагностики; в противном случае — переход к блоку *6*.

4. Диагностирование результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода обработки модели с соответствующими признаками:

построен хотя бы один набор элементов порождающей среды *P;*

не построено ни одного набора.

5. Передача результата проектирования.

6. В графе связи элементов порождающей среды строится путь фиксированной длины *K* — состав вершин этого пути образует список *SS*.

7. По списку *SS* и матрице *ML1* строится матрица *ML* табличной модели ТАМД1А. Состав и порядок строк матрицы *ML* определяется списком *SS* (за исключением первого элемента списка).

8. Обработка табличной модели ТАМД1А. Исходными данными являются векторы *VL1, VL2.* Математическая модель представляется матрицей *ML.* Выходные данные: список *SS1,* его длина *K1,* признак окончания обработки модели *PR.*

9. Проверка достаточности списка элементов *SS* для перевода контуров множества *F(A)* из исходного состояния *VL1* в конечное *VL2.* Если по табличной модели ТАМД1А реализована только часть контуров вектора *VL2* — возврат в блок *3.* Если реализованы все контуры *VL2* — переход к блоку *10.*

10. Проверка необходимости элементов списка *SS* для перевода контуров множества *F(A)* из исходного состояния *VL1* в конечное *VL2.* Если *K1=K* — список элементов *SS* является необходимым — запоминание результата. Если *K1≠K* — список элементов *SS* — избыточный — возврат в блок *3.*

11. Запоминание списка *SS.*

Пример обработки модели СЕМД1А приведен на рис. 6.18.

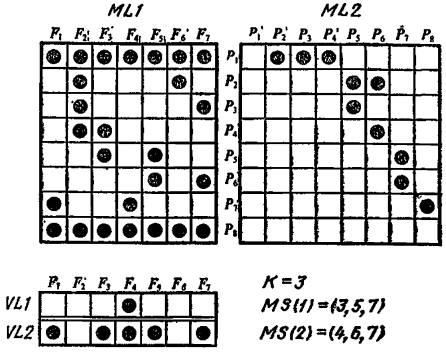


Рис. 6.18. Пример обработки модели СЕМД1А

6.4.2. Сетевая модель СЕМД2А

6.4.21. Объект *A* описывается составом контуров *F(A)* в соответствии с логическим отношением вида (3.28). Для реализации контуров множества *F(A)* имеется порождающая среда *P,* содержащая *N* элементов и *M* контуров. Требуется определить все упорядоченные наборы элементов порождающей среды *P,* которые являются необходимыми и достаточными для перевода контуров множества *F(A)* из исходного состояния в конечное. Наборы различаются составом и числом входящих элементов.

6.4.22. Исходные данные:

1. Вектор *VL1* логических переменных c_i, описывающих исходное состояние контуров множества $F(A)$.

2. Вектор *VL2* логических переменных c_i, описывающих конечное состояние контуров множества $F(A)$.

Истинностные значения логических переменных c_i векторов *VL1, VL2* аналогичны п. 6.3.12.

6.4.23. Математическая модель включает в себя матрицы *ML1* и *ML2*. Булева матрица $ML1=[P\times F(P)]$ аналогична (2.3). Отношения порядка между элементами порождающей среды P описываются матрицей смежности элементов $ML2=[P\times P]$ вида (2.1). Булева матрица *ML2* описывает ориентированный ациклический граф.

6.4.24. Выходные данные: матрица *MS* списков *SS* номеров элементов порождающей среды P. Состав элементов, включенных в отдельный список, необходим и достаточен для перевода контуров множества $F(A)$ из состояния, описанного вектором *VL1*, в состояние, соответствующее вектору *VL2*. Общее число списков в матрице *MS* составляет J.

6.4.25. Алгоритм обработки модели СЕМД2А основан на построении в ориентированном ациклическом графе путей произвольной длины. Построенные в графе пути проверяются на необходимость и достаточность по табличной модели ТАМД1А.

Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.19.

1. Передача на вход векторов *VL1* и *VL2*, матриц *ML1, ML2*, а также их размеров M, N.

2. Установка J — счетчика списков, являющихся решением, в нулевое значение.

3. Проверка возможности построения очередного пути в графе. Если все пути построены — переход в блок диагностики; в противном случае — переход к блоку *6*.

4. Диагностирование результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода обработки модели с соответствующими признаками:

построен хотя бы один набор элементов порождающей среды P;

не построено ни одного набора.

5. Передача результатов проектирования.

6. В графе связи элементов порождающей среды строится путь произвольной длины K — состав вершин этого пути образует список *SS*.

7. По списку *SS* и матрице *ML1* строится матрица *ML* табличной модели ТАМД1А. Состав и порядок строк матрицы *ML* определяется списком *SS* за исключением первого элемента списка.

8. Обработка табличной модели ТАМД1А. Исходными данными являются векторы *VL1, VL2*. Математическая модель представляется матрицей *ML*. Выходные данные: список *SS1*, его длина *K1*, признак окончания обработки модели *PR*.

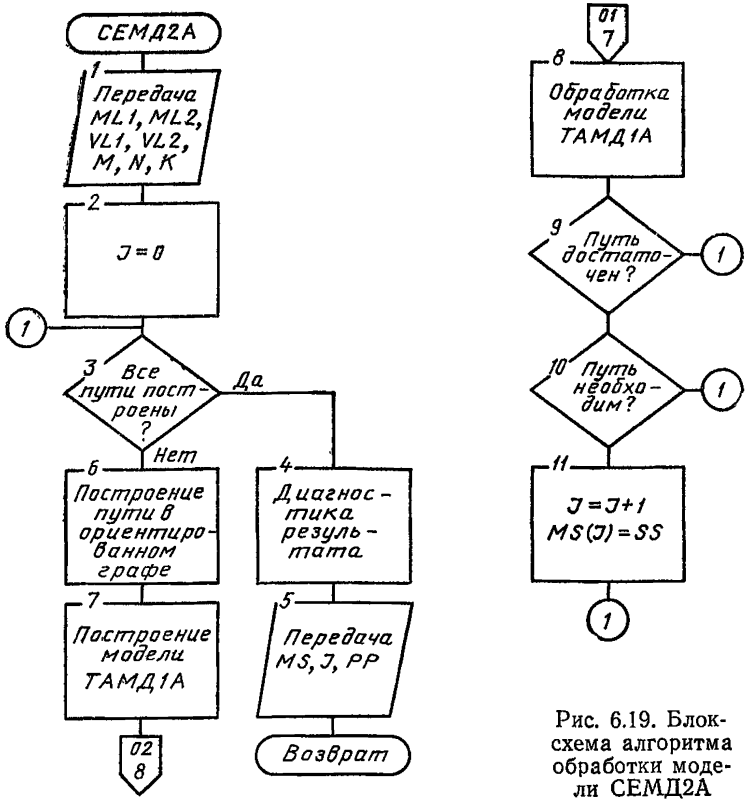


Рис. 6.19. Блок-схема алгоритма обработки модели СЕМД2А

9. Проверка достаточности элементов списка *SS* для перевода контуров множества *F(A)* из исходного состояния *VL1* в конечное *VL2*. Если по табличной модели ТАМД1А реализована только часть контуров вектора *VL2* — возврат в блок *3;* если реализованы все контуры *VL2* — переход к блоку *10.*

10. Проверка необходимости элементов списка *SS* длиной *K* для перевода контуров множества *F(A)* из исходного состояния *VL*1 в конечное *VL2*. Если *K1≠K* — список элементов *SS* — избыточный — возврат в блок *3.*

11. Запоминание списка *SS.*

Пример обработки модели СЕМД2А приведен на рис. 6.20.

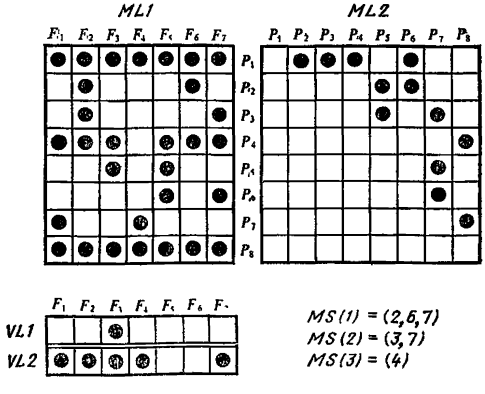


Рис. 6.20. Пример обработки модели СЕМД2А

6.4.3. Сетевая модель СЕМК1А

6.4.31. Объект A описывается составом контуров $F(A)$ в соответствии с логическим отношением вида (3.27). Для реализации контуров множества $F(A)$ имеется порождающая среда P, содержащая N элементов и M контуров. Требуется определить все упорядоченные наборы элементов порождающей среды P, которые являются достаточными для реализации контуров множества $F(A)$. Число элементов, входящих в каждый упорядоченный набор, постоянно и равно K.

6.4.32. Исходные данные: вектор VL логических переменных c_i, описывающих состояние контуров объекта A. Логическая переменная вектора VL принимает значения аналогично п. 6.3.32.

6.4.33. Математическая модель представляется булевой матрицей $ML1=[P\times F(P)]$, аналогичной (2.3).

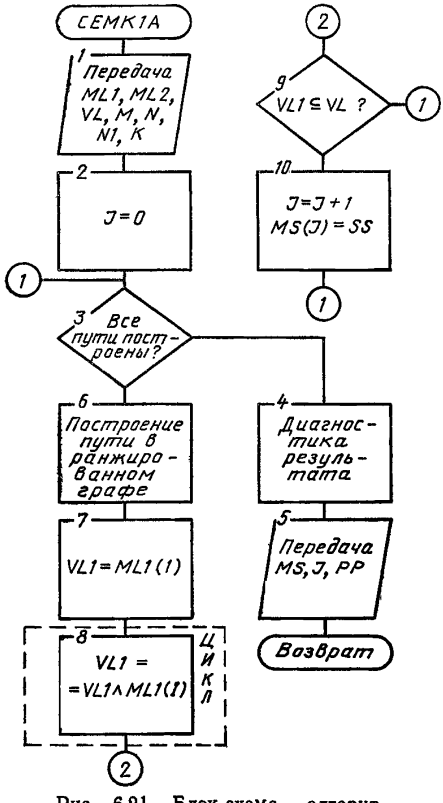


Рис. 6.21. Блок-схема алгоритма обработки модели СЕМК1А

Отношения порядка между элементами порождающей среды P описываются матрицей $ML2=[P\times P]$ вида (2.1). Булева матрица $ML2$ описывает ориентированный ранжированный граф.

6.4.34. Выходные данные: матрица MS списков SS номеров элементов порождающей среды P. Состав элементов, включенных в отдельный список, достаточен для реализации контуров, описанных в векторе VL.

6.4.35. Алгоритм обработки модели СЕМК1А основан на построении в ранжированном ориентированном графе путей фиксированной длины. Построенные в графе пути проверяются на достаточность реализации контуров множества $F(A)$. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 6.21.

1. Передача на вход вектора *VL*, матриц *ML1* и *ML2*, а также их размеров *M, N* и длину путей *K* в графе.

2. Установка *J* — счетчика списков, являющихся решением, в нулевое значение.

3. Проверка возможности построения очередного пути в графе. Если все пути построены — переход в блок диагностики; в противном случае — переход к блоку *6*.

4. Диагностирование результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода обработки модели с соответствующими признаками:

построен хотя бы один набор элементов порождающей среды *P*;

не построено ни одного набора.

5. Передача результатов проектирования.

6. В графе связи элементов порождающей среды строится путь фиксированной длины *K* — состав вершин этого пути образует список *SS*.

7. Формирование начального состояния рабочего вектора *VL1*.

8. Определение состава контуров, реализованных элементами списка *SS*.

9. Проверка достаточности списка элементов *SS* для реализации контуров множества *F(A)*. Если $VL1 \subseteq VL$—список элементов *SS* является достаточным — запоминание результата. В противном случае — возврат в блок *3*.

10. Запоминание списка *SS*.

Пример обработки модели СЕМК1А приведен на рис. 6.22.

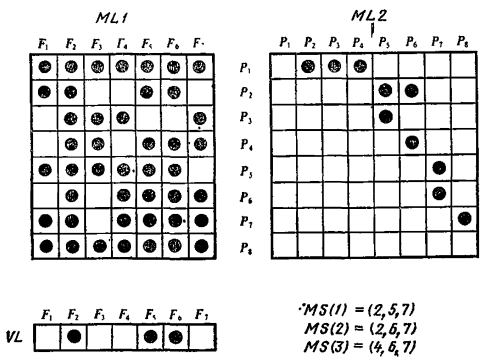


Рис. 6.22. Пример обработки модели СЕМК1А

6.4.4. Сетевая модель СЕМК1Б

6.4.41. Объект *A* описывается составом контуров *F(A)* в соответствии с логическим отношением вида (3.30). Для реализации контуров множества *F(A)* имеется порождающая среда *P*, содержащая *N* элементов и *M* контуров. Требуется определить все упорядоченные наборы элементов порождающей среды *P*, кото-

рые являются достаточными для реализации контуров $F(A)$. Число элементов, входящих в каждый упорядоченный набор, постоянно и равно K.

6.4.42. Исходные данные: векторы VL логических переменных c_i, описывающих состояние контуров множества $F(A)$, разделенных на группы в соответствии с условием (3.32). Логическая переменная c_i вектора VL принимает значения аналогично п. 6.3.42.

Векторы VL общим числом K объединяются в булеву матрицу ML, имеющую размерность $M \times K$, где M — число контуров.

6.4.43. Математическая модель представляется булевой матрицей $ML1 = [P \times F(P)]$, аналогичной (2.3). Отношение порядка между элементами порождающей среды P описывается матрицей смежности элементов $ML2 = [P \times P]$ вида (2.1). Булева матрица $ML2$ описывает ориентированный ранжированный граф.

6.4.44. Выходные данные: матрица MS списков SS номеров элементов порождающей среды P. Состав элементов, включенных в отдельный список, достаточен для реализации контуров в векторах VL.

6.4.45. Алгоритм обработки модели СЕМК1Б основан на построении в ранжированном ориентированном графе путей фиксированной длины. Построенные в графе пути проверяются на достаточность для реализации контуров хотя бы одного вектора VL. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 6.23.

1. Передача на вход матриц ML, $ML1$, $ML2$, а также размеров M, N и длины путей в графе.

2. Установка J — счетчика списков, являющихся решением, в нулевое значение.

3. Проверка возможности построения очередного пути в графе. Если все пути построены — переход в блок диагностики; в противном случае — переход к блоку *6*.

4. Диагностирование результата обработки модели; определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода обработки модели с соответствующими признаками:

построен хотя бы один набор элементов порождающей среды P для реализации контуров каждого вектора VL;

имеется хотя бы один вектор VL, контуры которого остались не реализованными.

5. Передача результатов проектирования.

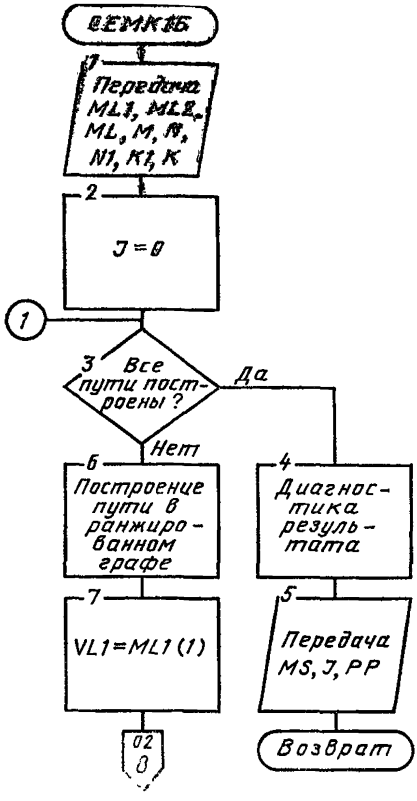
6. В графе связи элементов порождающей среды P строится путь фиксированной длины — состав вершин этого пути образует список SS.

7. Формирование начального состояния рабочего вектора $VL1$.

8. Определение состава контуров, реализованных элементами списка $SS1$.

9. Установка I — счетчика векторов VL в нулевое значение.

10 и 11. Определение следующего номера вектора VL и проверка полноты перебора строк матрицы ML. Если все векторы VL проверены — возврат в блок *3;* в противном случае — переход к блоку *12*.



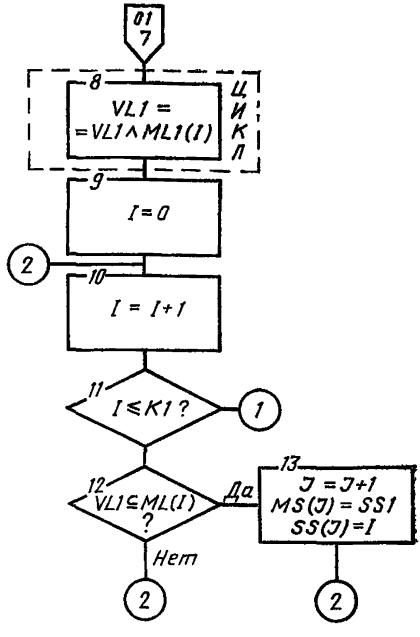


Рис. 6.23. Блок-схема алгоритма обработки модели СЕМК1Б

12. Проверка достаточности списка элементов *SS1* для реализации контуров множества *F(A)*, описанного вектором *VL* номера *1*. Если $VL1 \subseteq ML(I)$ — список элементов *SS1* является достаточным — запоминание результата. В противном случае — возврат в блок *3*.

13. Запоминание списка *SS1* и номера *1*.

Пример обработки модели СЕМК1Б приведен на рис. 6.24.

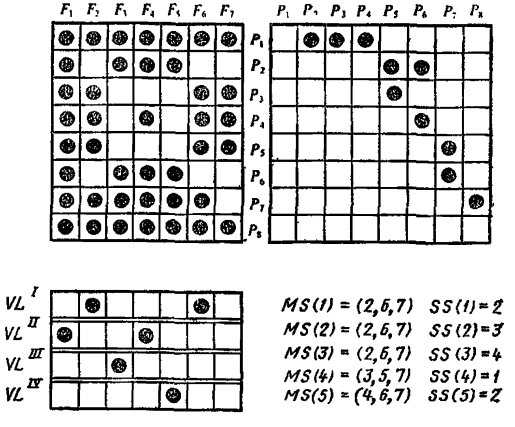


Рис. 6.24. Пример обработки модели СЕМК1Б

6.4.5. Сетевая модель СЕМК2А

6.4.51. Объект A описывается составом контуров $F(A)$ в соответствии с логическим отношением вида (3.27). Для реализации контуров множества $F(A)$ имеется порождающая среда P, содержащая N элементов и M контуров. Требуется определить все упорядоченные наборы элементов порождающей среды P, которые являются достаточными для реализации контуров множества $F(A)$. Число элементов, входящих в каждый упорядоченный набор, равно K.

6.4.52. Исходные данные: вектор VL логических переменных c_i, описывающих состояние контуров объекта A. Логическая переменная вектора VL принимает значения аналогично п. 6.3.32.

6.4.53. Математическая модель — булева матрица $ML1 = [P \times F(P)]$ аналогичная (2.3).

Отношения порядка между элементами порождающей среды P описываются матрицей $ML2 = [P \times P]$ вида (2.1). Булева матрица $ML2$ описывает ориентированный ациклический граф.

6.4.54. Выходные данные: матрица MS списков SS номеров элементов порождающей среды P. Состав элементов, включенных в отдельный список SS, достаточен для реализации контуров, описанных в векторе VL.

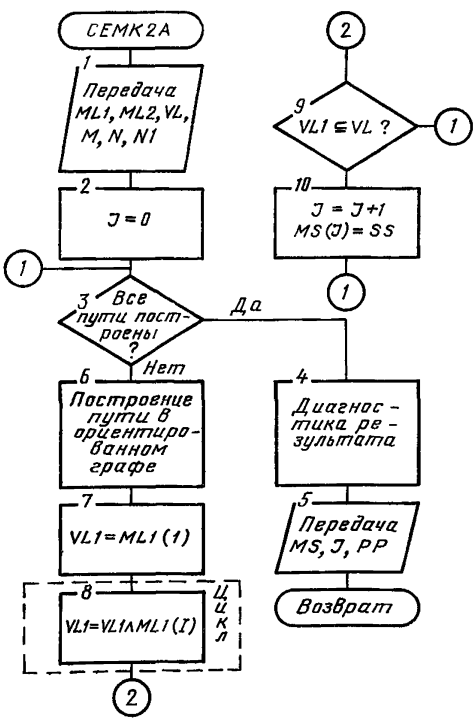


Рис. 6.25. Блок-схема алгоритма обработки модели СЕМК2А

6.4.55. Алгоритм обработки модели СЕМК2А основан на построении в ориентированном ациклическом графе путей произвольной длины. Построенные в графе пути проверяются на достаточность реализации контуров множества $F(A)$. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 6.25.

1. Передача на вход вектора VL, матриц $ML1$ и $ML2$, а также их размеров M, N.

2. Установка J — счетчика списков, являющихся решением, в нулевое значение.

3. Проверка возможности построения очередного пути в графе. Если

все пути построены — переход в блок диагностики; в противном случае — переход к блоку *6*.

4. Диагностирование результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода обработки модели с соответствующими признаками:

построен хотя бы один набор элементов порождающей среды *P*;

не построено ни одного набора.

5. Передача результатов проектирования.

6. В графе связи элементов порождающей среды строится путь произвольной длины *K* — состав вершин этого пути образует список *SS*.

7. Формирование рабочего вектора *VL1*, описывающего состав контуров, реализованных элементами списка *SS*.

8. Определение состава контуров, реализованных элементами списка *SS*.

9. Проверка достаточности списка элементов *SS* для реализации контуров множества *F(A)*. Если $VL1 \subseteq VL$ — список элементов *SS* является достаточным — запоминание результата; в противном случае — возврат в блок *3*.

10. Запоминание списка *SS*.

Пример обработки модели СЕМК2А приведен на рис. 6.26.

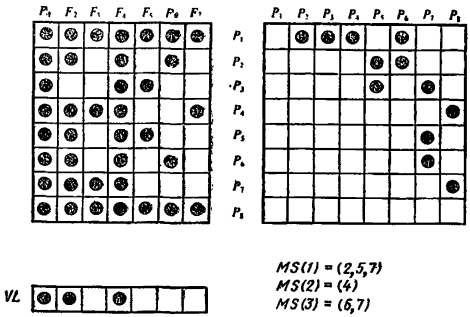


Рис. 6.26. Пример обработки модели СЕМК2А

6.4.6. Сетевая модель СЕМК2Б

6.4.61. Объект *A* описывается составом контуров *F(A)* в соответствии с логическим отношением вида (3.32). Для реализации контуров множества *F(A)* имеется порождающая среда *P*, содержащая *N* элементов и *M* контуров. Требуется определить все упорядоченные наборы элементов порождающей среды *P*, которые являются достаточными для реализации контуров *F(A)*.

6.4.62. Исходные данные: векторы *VL* логических переменных c_i, описывающих состояние контуров множества *F(A)*, разделен-

ных на группы в соответствии с условием (3.32). Логическая переменная c_i отдельного вектора VL принимает значения, аналогичные п. 6.3.42.

Векторы VL общим числом K объединяются в булеву матрицу ML, имеющую размерность $M \times K$, где M — число контуров.

6.4.63. Математическая модель представляется булевой матрицей $ML1 = [P \times F(P)]$, аналогичной (2.3). Отношение порядка между элементами порождающей среды P описывается матрицей смежности элементов $ML2 = [P \times P]$ вида (2.1). Булева матрица $ML2$ описывает ориентированный ацикличный граф.

6.4.64. Выходные данные: матрица MS списков SS номеров элементов порождающей среды P. Состав элементов, включенных в отдельный список, достаточен для реализации контуров в векторах VL.

6.4.65. Алгоритм обработки модели СЕМК2Б основан на построении в ориентированном ацикличном графе путей произвольной длины. Построенные в графе пути проверяются на достаточность реализации контуров хотя бы одного вектора. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 6.27:

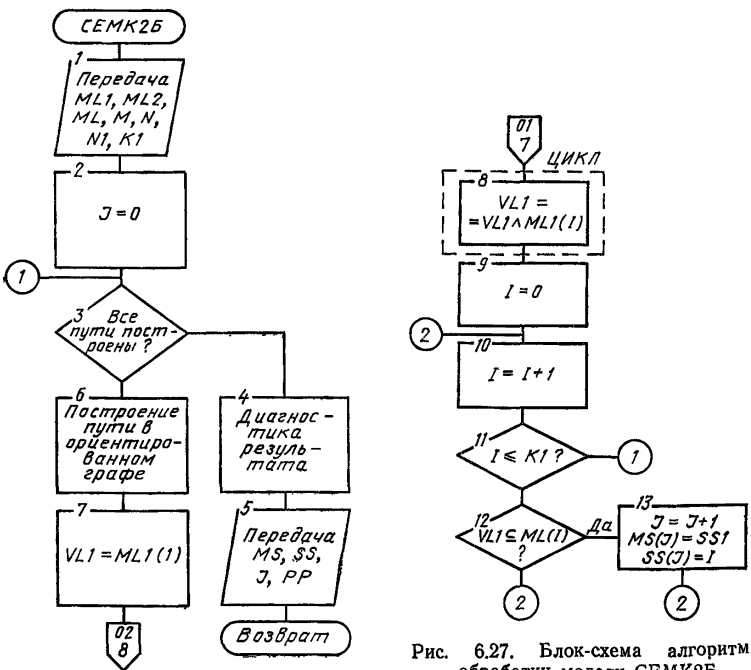


Рис. 6.27. Блок-схема алгоритма обработки модели СЕМК2Б

1. Передача на вход матриц *ML, ML1, ML2,* а также их размеров *M, N.*

2. Установка *J* — счетчика списков, являющихся решением, в нулевое значение.

3. Проверка возможности построения очередного пути в графе. Если все пути построения — переход в блок диагностики; в противном случае — переход к блоку *6.*

4. Диагностирование результата обработки модели: определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода обработки модели с соответствующими признаками:

построен хотя бы один набор элементов порождающей среды *P* для реализации контуров каждого вектора *VL;*

имеется хотя бы один вектор *VL,* контуры которого остались нереализованными.

5. Передача результатов проектирования.

6. В графе связи элементов порождающей среды *P* строится путь *SS1* произвольной длины.

7. Формирование рабочего вектора *VL1,* описывающего состав контуров, реализованных элементами списка *SS1.*

8. Определение состава контуров, реализованных элементами списка *SS1.*

9. Установка *I* — счетчика векторов *VL* в нулевое значение.

10 и 11. Определение следующего номера вектора *VL* и проверка полноты перебора. Если все векторы *VL* проверены — возврат в блок *3;* в противном случае — переход к *12.*

12. Проверка достаточности списка элементов *SS1* для реализации контуров множества *F(A),* описанного вектором *VL* номера *1.* Если $VL1 \subseteq ML(1)$ — список элементов *SS1* является достаточным — запоминание результата; в противном случае — возврат в блок *3.*

13. Запоминание списка *SS1* и номера *I.*

Пример обработки модели СЕМК2Б приведен на рис. 6.28.

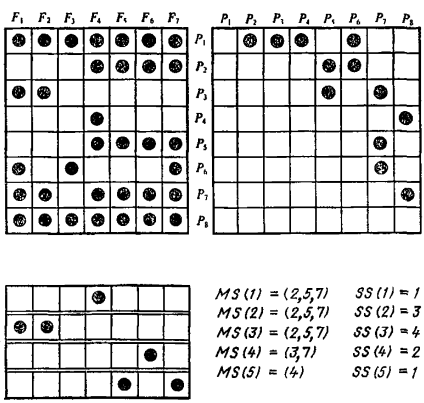


Рис. 6.28. Пример обработки модели СЕМК2Б

6.5. ПЕРЕСТАНОВОЧНЫЕ МОДЕЛИ

6.5.1. Перестановочная модель ПЕМД1А

6.5.11. Имеется состав элементов порождающей среды P, определяемый по матрице контуров, аналогичной ТАМД1А, и реализующий заданный состав контуров изделия A. Взаимосвязь между элементами порождающей среды определена условиями вида (2.32) и (2.33). Требуется определить порядок элементов порождающей среды, удовлетворяющий условиям вида (2.32) и (2.33).

6.5.12. Исходные данные:

1. Состав $\{P_1, P_2, ..., P_n\}$ элементов порождающей среды, реализующий свойства изделия A.
2. Наборы логических условий *RL1* вида (2.34).
3. Наборы логических условий *RL2* вида (2.35).

6.5.13. Выходные данные

Матрица *MS* списков *SS* порядковых номеров элементов порождающей среды, удовлетворяющих условиям *RL1* и *RL2*, необходимых для реализации заданных контуров изделия A.

6.5.14. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.29.

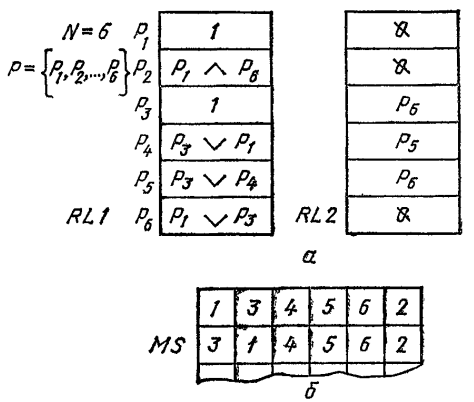


Рис. 6.29. Пример обработки модели ПЕМД1А

а—исходные данные; *б*—выходные данные

1. Осуществляется передача информации об исходных данных. Организуется цикл для проверки всех перестановок по условиям *RL2* и *RL1*.
2. Осуществляется генерация перестановок.
3. Выполняется проверка перестановки по условиям *RL1*, в случае если:

а) перестановка удовлетворяет им, то осуществляется переход к следующему блоку;

б) в противном случае — к блоку *2*.

4. Выполняется проверка перестановки по условиям *RL2*, в случае если:

а) перестановка удовлетворяет им, осуществляется переход к следующему блоку;

б) в противном случае — к блоку *2*.

5. Перестановка запоминается как вариант решения.

6. Осуществляется диагностика процесса проектирования. Возможны следующие исходы:

а) получен один или несколько вариантов решения;

б) не получено ни одного решения, удовлетворяющего ограничениям.

В случае необходимости соответствующее диагностическое сообщение выводится на периферийное устройство.

7. Осуществляется вывод результатов проектирования.

Блок-схема алгоритма обработки модели приведена на рис. 6.30.

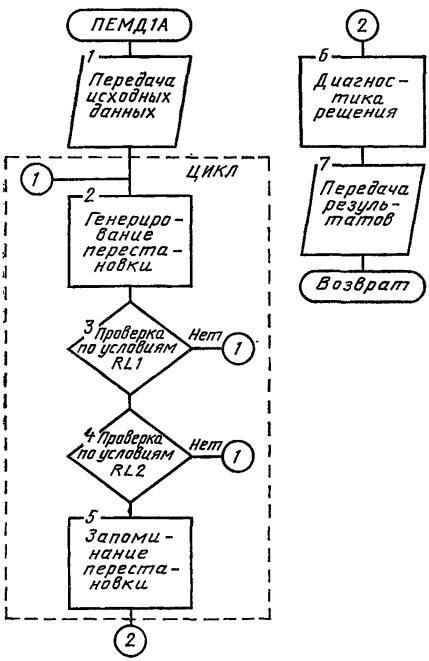


Рис. 6.30. Блок-схема алгоритма обработки модели ПЕМД1А

6.5.2. Перестановочная модель ПЕМДЗА

6.5.21. Изделие A описывается составом контуров $F(A)$ в соответствии с логическим отношением вида (3.28). Для реализации контуров изделия A имеется порождающая среда P, содержащая N элементов. Взаимосвязь между элементами порождающей среды задана следующими условиями:

а) условия предшествования *RL1* вида (2.34).

б) условия следования *RL2* вида (2.35).

в) условия смежности элементов (граф бинарных связей, представленный булевой матрицей *ML2* вида (2.1).

Требуется определить наборы элементов порождающей среды, необходимые для реализации заданных контуров изделия A. Наборы элементов различаются составом, количеством и порядком входящих в них элементов.

6.5.22. Исходные данные:

1. Вектор *VL1* логических переменных c_i, описывающий исходное состояние контуров F изделия A.

2. Вектор *VL2* логических переменных c_i, описывающий конечное состояние контуров F изделия A.

Истинностные значения логических переменных c_i, векторов *VL1, VL2* аналогичны п. 6.3.12.

6.5.23. Модель порождающей среды представлена:

1. Матрицей *ML1* состава контуров элементов порождающей среды вида (2.3).

2. Набором логических условий *RL1* вида (2.34).

3. Набором логических условий *RL2* вида (2.35).

4. Матрицей смежности элементов *ML2* вида (2.1).

6.5.24. Выходные данные: матрица *MS* списков *SS* номеров элементов порождающей среды, необходимых и достаточных для реализации заданных контуров изделия A.

6.5.25. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.31:

1. Осуществляется передача информации о модели порождающей среды и исходных данных. Организуется цикл для обработки всех составов элементов порождающей среды, удовлетворяющих решению по реализованному составу контуров.

2. Определяется состав элементов модели порождающей среды. Для этого используется сочетательная модель СОМДЗА. Организуется цикл для проверки всех перестановок по условиям.

3. Осуществляется генерация перестановки из элементов модели порождающей среды.

4. Выполняется проверка перестановки по условиям предшествования. в случае, если:

а) перестановка удовлетворяет им, то осуществляется переход к следующему блоку;

б) в противном случае — к блоку *3*.

5. Выполняется проверка перестановки по условиям следования, в случае, если:

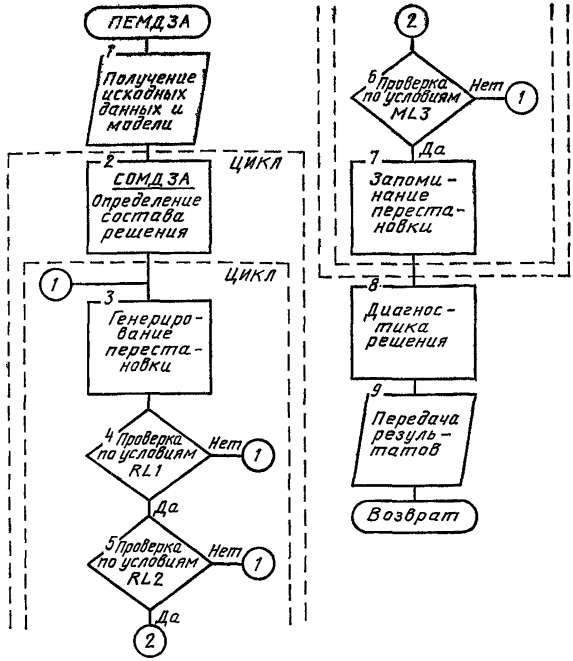


Рис. 6.31. Блок-схема алгоритма обработки модели ПЕМДЗА

а) перестановка удовлетворяет им, то осуществляется переход к следующему блоку;

б) в противном случае — переход к блоку *3*.

6. Выполняется проверка перестановки по условиям сопряжения элементов, в случае, если:

а) перестановка удовлетворяет им, то осуществляется переход к следующему блоку;

б) в противном случае — к блоку *3*.

7. Перестановка запоминается как возможный вариант решения.

8. Осуществляется диагностика процесса проектирования. Возможны следующие исходы:

а) получен один или несколько вариантов решения;

б) не получено ни одного решения, удовлетворяющего по составу контуров;

в) не получено ни одного решения, удовлетворяющего ограничениям.

В случае необходимости соответствующее диагностическое сообщение выводится на какое-либо устройство.

Осуществляется передача результатов проектирования.

Пример обработки модели ПЕМДЗА показан на рис. 6.32.

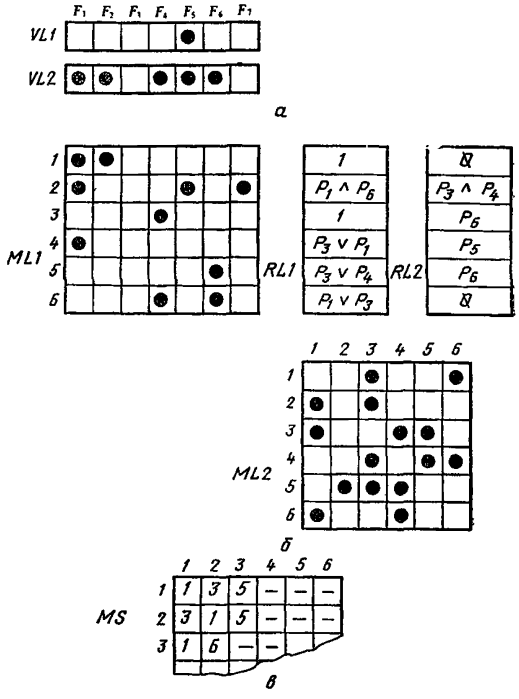


Рис. 6.32. Пример обработки модели ПЕМДЗА:

а—исходные данные; *б*—математическая модель; *в*—выходные данные

6.5.3. Перестановочная модель ПЕМК3Б

6.5.31. Изделие A описывается множеством контуров $F(A)$ в соответствии с логическим отношением вида (3.32). Для реализации контуров изделия A имеется порождающая среда P, содержащая N элементов. Взаимосвязь между элементами определяется условиями вида (2.32), (2.33), (2.34), (2.35) и (3.81).

Требуется определить наборы элементов порождающей среды, необходимые для реализации заданных контуров изделия A. Наборы элементов различаются составом, количеством и порядком входящих в них элементов.

6.5.32. Исходные данные: векторы VL_l булевых переменных F_t, описывающие свойства элементов изделия, подлежащие реализации; истинностные значения F_t аналогичны п. 6.3.32.

6.5.33. Модель порождающей среды представлена:

1. Матрицей ML1 состава контуров элементов порождающей среды вида (2.3), определяющей условия вида (3.81).

2. Матрицей смежности элементов *ML2* вида (2.1).

3. Набором логических условий *RL1* вида (2.34).

4. Набором логических условий *RL2* вида (2.35).

6.5.34. Выходные данные: матрица *MS* списков *SS* номеров элементов порождающей среды, удовлетворяющих условиям *RL1, RL2, ML2* и реализующих заданный состав контуров изделия *A*.

6.5.35. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6.33:

1. Осуществляется передача информации о модели порождающей среды и исходных данных.

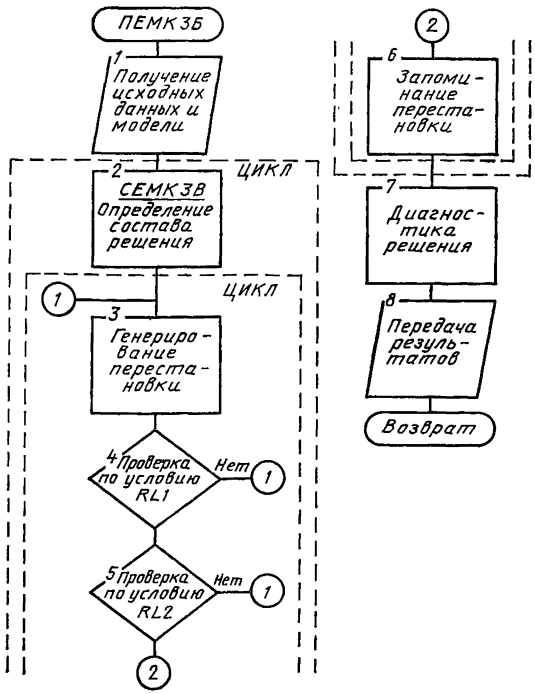


Рис. 6.33. Пример обработки модели ПЕМК3Б:

Организуется цикл для обработки всех составов элементов порождающей среды, удовлетворяющих решению по реализуемому составу контуров.

2. Определяется состав элементов модели порождающей среды. Для этого используется сетевая модель СЕМК2Б. Организуется цикл для проверки всех перестановок по условиям.

3. Осуществляется генерация перестановки из элементов модели порождающей среды.

4. Выполняется проверка перестановки по условиям предшествования *RL1:* если перестановка удовлетворяет им, то осуществляется переход к следующему блоку; в противном случае — к блоку *3.*

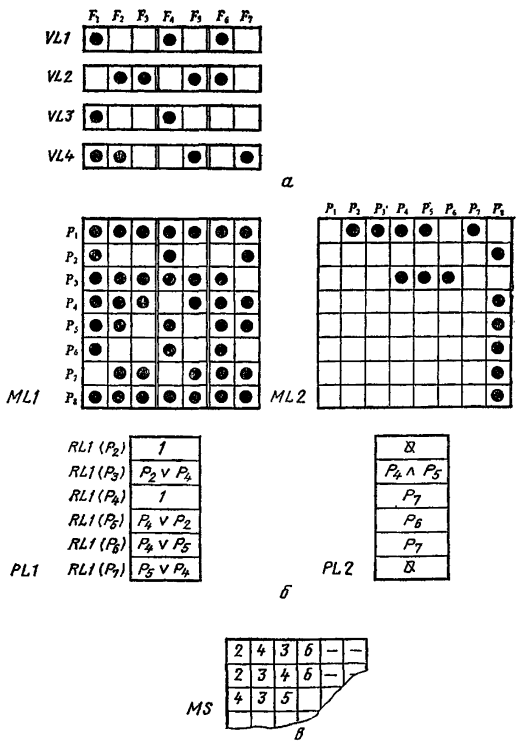


Рис. 6.34. Блок-схема обработки модели ПЕМК3Б

а—исходные данные; *б*—математическая модель; *в*—выходные данные

5. Выполняется проверка перестановки по условиям следования *RL2:* если перестановка удовлетворяет им, то осуществляется переход к следующему блоку; в противном случае — к блоку *3.*

6. Перестановка запоминается как возможный вариант решения.

7. Осуществляется диагностика процесса проектирования. Возможны следующие исходы:

а) получен один или несколько вариантов решения;

б) не получено ни одного решения, удовлетворяющего по составу контуров;

в) не получено ни одного решения, удовлетворяющего ограничениям.

В случае необходимости, соответствующее диагностическое сообщение выводится на какое-либо устройство.

8. Осуществляется передача результатов проектирования.

Пример обработки модели ПЕМКЗБ показан на рис. 6.34.

6.6. СОЧЕТАТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ

6.6.1. Сочетательная модель СОМДЗА

6.6.11. Изделие A описывается множеством контуров $F(A)$. Для реализации контуров $F(A)$ имеется порождающая среда P, содержащая N элементов.

Задача заключается в определении подмножества $P_{A_t} \in P$, необходимого и достаточного для реализации $F(A)$.

6.6.12. Исходные данные:

1. Вектор *VL1* логических переменных c_{o_t}, описывающий исходное состояние контуров $F(A)$ изделия A.

2. Вектор *VL2* конечного состояния контуров F изделия A.

Заполнение *VL1*, *VL2* аналогично п. 6.3.12.

6.6.13. Выходные данные: матрица *MS* номеров *SS* элементов модели, необходимых и достаточных для реализации $F(A)$.

6.6.14. Модель представлена матрицей $ML_{P,\,F(P)}$, состава контуров элементов P вида (2.3).

6.6.15. Блок-схема алгоритма обработки модели СОМДЗА показана на рис. 6.35:

1. Получение исходных данных и математической модели.

2. Диагностика исходных данных.

3. Генерация очередного сочетания.

4. Формирование варианта решения — матрицы $ML2 = [P_{A_t} \times F(P_{A_t})]$, где номера k $\tau_k \in P_{A_t}$ соответствуют элементам сочетания C_n^m .

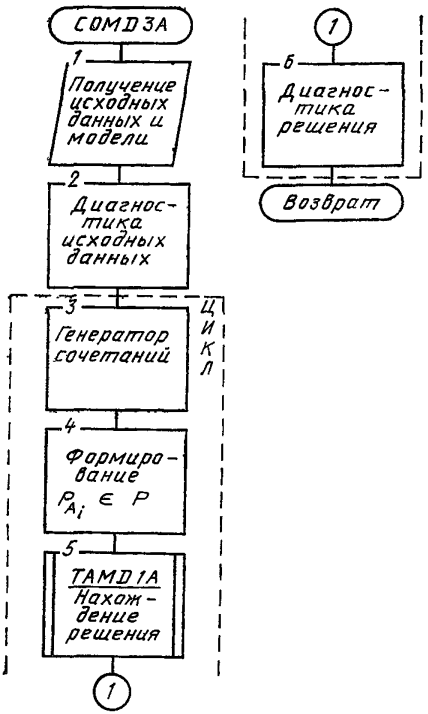


Рис. 6.35. Блок-схема обработки модели COMD3A

5. Передача матрицы *ML2* для получения решения в модель ТАМД1А.

6. Диагностика полученного решения.

7. Передача решения вызывающей модели.

Пример обработки модели показан на рис. 6.36.

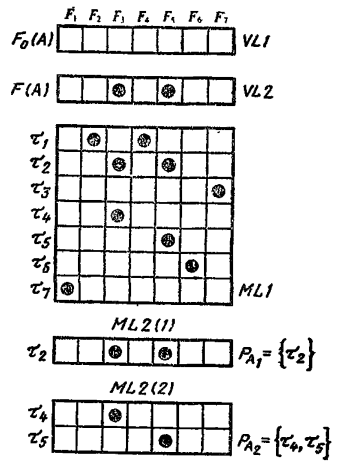


Рис. 6.36. Пример обработки модели COMD3A

6.6.2. Сочетательная модель СОМД3Б

6.6.21. Изделие A описывается множеством контуров $F(A)$. Для реализации контуров $F(A)$ имеется порождающая среда P, содержащая N элементов. Требуется определить набор элементов порождающей среды, необходимый для реализации заданных контуров изделия.

6.6.22. Исходные данные:

1. Вектор *VL1* логических переменных C_{o_i}, описывающий исходное состояние контуров $F(A)$ изделия A.

2. Вектор *VL2* конечного состояния контуров $F(A)$ изделия A. Истинностные значения логических переменных c_i векторов *VL1*, *VL2* аналогичны п. 6.3.12.

3. На включение в решение элементов $\tau_i \in P$ накладываются ограничения:

сочетание из элементов, которые не могут одновременно входить в решение; $PI = 1$.

задаются элементы модели, которые не могут быть решением; $PI = 2$.

элементы модели $\tau_i \in P$ разбиваются на группы. В решение включается только один из элементов группы, $P1=3$.

Каждому из ограничений задается переменная $P1$. При $P1=0$ ограничения игнорируются.

6.6.23. Модель представлена матрицей $ML1_{P,F(P)}$ состава контуров F элементов $\tau_i \in P$ вида (2.3).

6.6.24. Выходные данные: матрица MS наборов SS номеров элементов модели, необходимых и достаточных для реализации $F(A)$.

6.6.25. Блок-схема алгоритма обработки приведена на рис. 6.37:

1. Получение исходных данных, математической модели и ограничений.

2. Диагностика исходных данных и ограничений.

3. Генерация очередного сочетания.

4. Формирование, с условиями ограничений, матрицы $ML2=[P_{A_t} \times F(P_{A_t})]$, где номера k $\tau_k \in P_{A_t}$ соответствуют элементам сочетания C_n^m.

5. Передача матрицы $ML2$ для получения решения в модель ТАМД1А.

6. Диагностика полученного решения.

7. Передача решения вызывающей модели.

Пример обработки модели COMD3Б приведен на рис. 6.38.

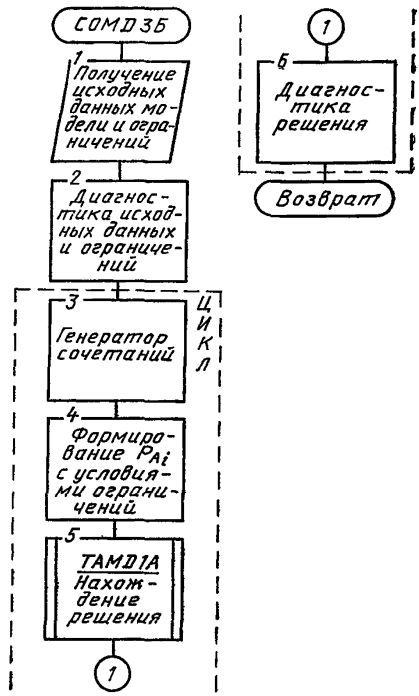


Рис. 6.37. Блок-схема обработки модели COMD3Б

6.6.3. Сочетательная модель COMK2A

6.6.31. Изделие A описывается множеством контуров $F(A)$, содержащим M элементов. Для реализации контуров $F(A)$ имеется порождающая среда P. Требуется определить набор элементов порождающей среды, необходимый и достаточный для реализации $F(A)$. Все варианты решений для одного $F(A)$ отличаются только составом элементов P. Количество элементов в решении одинаково для всех вариантов.

6.6.32. Исходные данные: вектор $VL1$ логических переменных c_i состава контуров $F(A)$; истинностные значения c_i — аналогично п. 6.3.32.

6.6.33. Модель представлена матрицей $ML1_{P,\,F(P)}$ состава контуров F элементов $\tau \in P$ вида (2.3).

6.6.34. Выходные данные: матрица MS наборов SS номеров элементов модели, необходимых и достаточных для реализации заданных контуров $F(A)$.

6.6.35. Блок-схема алгоритма обработки модели COMK2A показана на рис. 6.39:

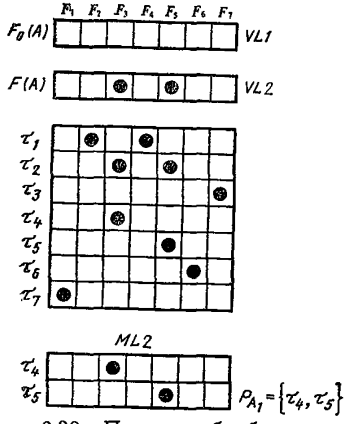


Рис. 6.38. Пример обработки модели COMD3Б

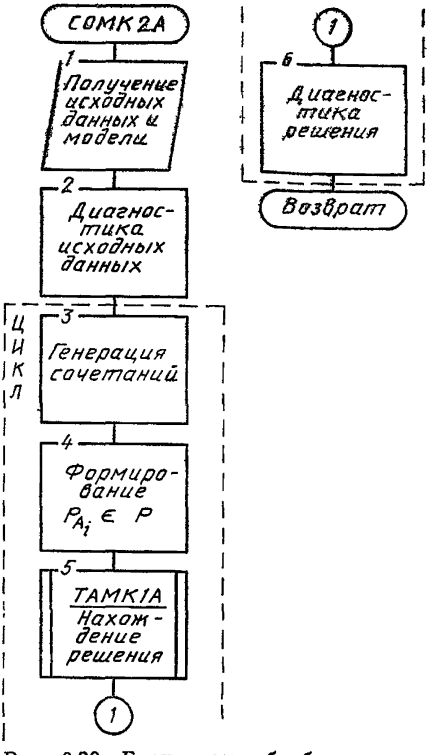


Рис. 6.39. Блок-схема обработки модели COMK2A

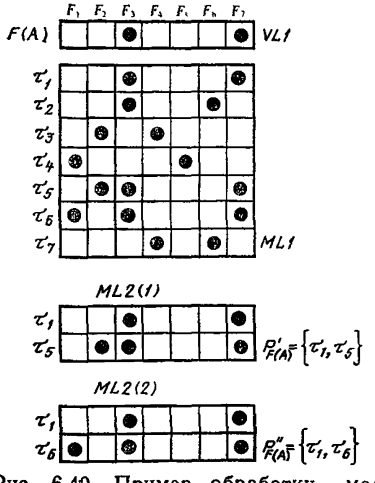


Рис. 6.40. Пример обработки модели COMK2A

1. Получение исходных данных.

2. Диагностика исходных данных.

3. Генерация очередного сочетания.

4. Формирование варианта решения — матрицы $ML2 = [P_{A_l} \times F(P_{A_l})]$, где номера k: $\tau_k \in P_{A_l}$ соответствуют элементам сочетания C_n^m.

5. Передача матрицы *ML2* для получения решения в модель ТАМК1А.

6. Диагностика полученного решения.

7. Передача решения вызывающей модели.

Пример обработки модели показан на рис. 6.40.

6.6.4. Сочетательная модель СОМК2Б

6.6.41. Изделие A описывается множеством контуров $F(A)$, содержащим N элементов. Для реализации контуров $F(A)$ имеется порождающая среда P. Требуется определить набор элементов, необходимый и достаточный для реализации $F(A)$. Все варианты решений для одного $F(A)$ отличаются только составом элементов P_{A_l}. Количество элементов в решении одинаково для всех вариантов.

На включение в решение элементов P накладываются ограничение ранжированным четырехуровневым графом $G=(P, C)$. В решение включается только один элемент каждого уровня.

6.6.42. Исходные данные: вектор *VL1* логических переменных c_i состава контуров $F(A)$; истинные значения c_i — аналогично п. 6.3.32.

6.6.43. Модель представлена матрицей *ML1* состава контуров элементов P вида (2.3) и графом $G=(P, C)$.

6.6.44. Выходные данные.

Матрица *MS* номеров элементов модели, необходимых и достаточных для реализации заданных контуров $F(A)$.

6.6.45. Блок-схема алгоритма обработки модели СОМК2Б показана на рис. 6.41:

1. Получение исходных данных.

2. Диагностика исходных данных.

3. Генерация очередного сочетания.

4. Формирование варианта решения — матрицы *ML2*, где номера k соответствуют элементам $\tau_k \in P_{A_l}$ сочетания C_n^m.

5. Передача матрицы *ML2* для получения решения в модель ТАМК1А.

6. Диагностика полученного решения.

7. Передача решения вызывающей модели.

Пример обработки модели показан на рис. 6.42.

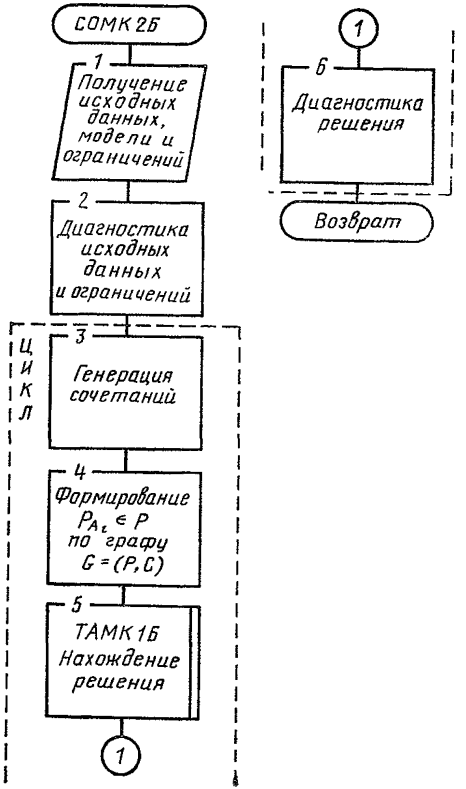


Рис. 6.41. Блок-схема обработки модели СОМК2Б

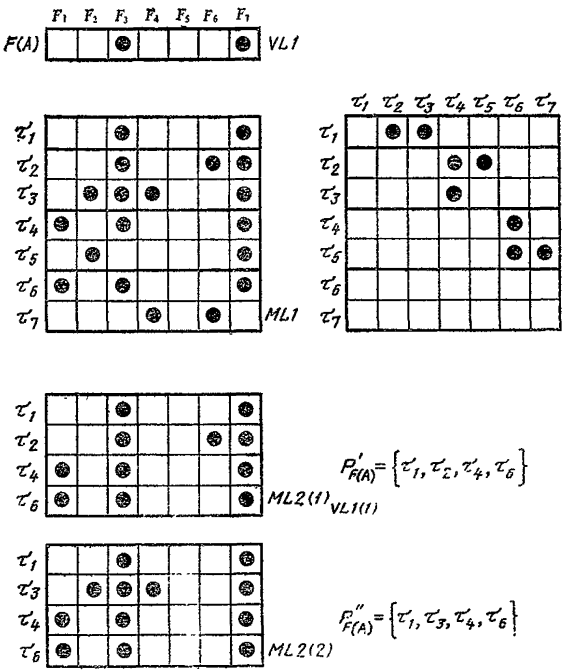


Рис. 6.42. Пример обработки модели СОМК2Б

6.6.5. Сочетательная модель СОМКЗА

6.6.51. Изделие A описывается множеством контуров $F(A)$, содержащим M элементов. Для реализации контуров $F(A)$ имеется порождающая среда P. Требуется определить набор элементов порождающей среды, необходимый и достаточный для реализации $F(A)$. Все варианты решений для одного $F(A)$ отличаются только составом элементов $\tau_i \in P$. Количество элементов в решении одинаково для всех вариантов.

На включение в решение элементов $\tau_i \in P$ накладываются ограничения в виде ациклического многоуровневого графа $G=(P, C)$. В решение включается только один элемент каждого уровня.

6.6.52. Исходные данные: вектор $VL1$ логических переменных c_i состава контуров $F(A)$; истинностные значения c_i — аналогично п. 6.3.32.

6.6.53. Модель представлена матрицей ML состава контуров элементов P вида (2.3) и графом $G=(P, C)$.

6.6.54. Выходные данные: матрица MS наборов SS номеров элементов модели, необходимых и достаточных для реализации заданных контуров $F(A)$.

6.6.55. Блок-схема алгоритма обработки модели СОМКЗА показана на рис. 6.43:

1. Получение исходных данных.
2. Диагностика исходных данных.
3. Генерация очередного сочетания.
4. Формирование варианта решения матрицы $ML2=[P_{A_i} \times F(P_{A_i})]$, где номера k соответствуют элементам сочетания C_n^m.
5. Передача матрицы $ML2$ для получения решения в модель ТАМК1А.
6. Диагностика полученного решения.
7. Передача решения вызывающей модели.

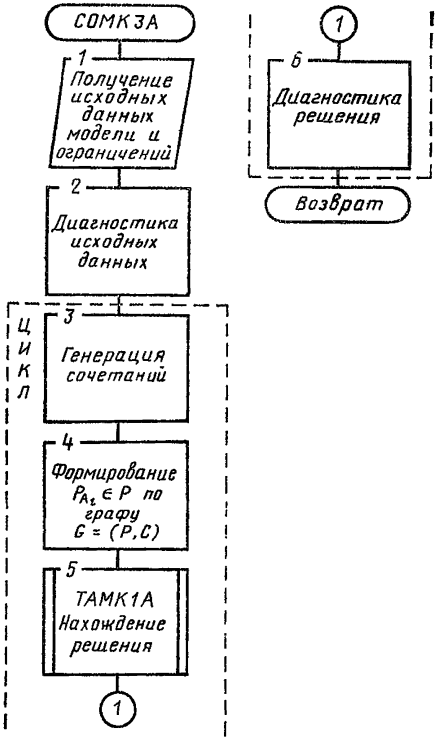


Рис. 6.43. Блок-схема обработки модели СОМКЗА

Пример обработки модели показан на рис. 6.44.

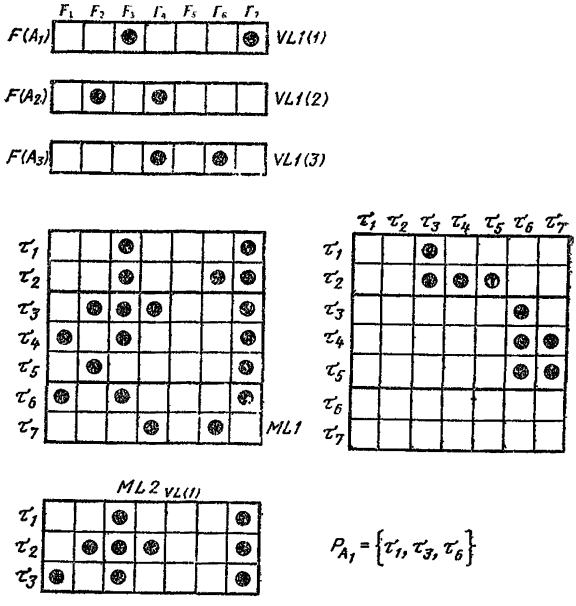


Рис. 6.44. Пример обработки модели СОМКЗА

6.7. СТРУКТУРА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ КОНСТРУКТОРСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

6.7.10. Решение достаточно сложных задач конструкторского технологического проектирования связано с использованием многих структурных и количественных математических моделей; при этом исходные данные и выходные данные решения задачи формируются, как правило, с использованием лингвистических моделей. Поэтому определение структуры математического обеспечения при решении конкретных задач проектирования является одной из важнейших проблем создания САПР.

6.7.20. Состав компонентов математического обеспечения определяется характером решаемой задачи; взаимосвязь этих компонентов определяется характером решаемой задачи и алгоритмом проектирования.

6.7.21. Основными компонентами математического обеспечения являются:

1) Структурные математические модели, характеризующие состав и взаимосвязь элементов и контуров модели порождающей среды; эти компоненты представляются матрицами контуров, матрицами смежности вершин графов взаимосвязи элементов и т. п.

2) Количественные математические модели расчета числовых значений контуров объекта проектирования — таблицы числовых величин, формулы и т. п.

3) Лингвистические модели словесного описания элементов и контуров модели порождающей среды.

6.7.22. Вспомогательными компонентами математического обеспечения являются блоки описания межмодельных связей — связей между структурными, количественными и лингвистическими компонентами математического обеспечения.

6.7.30. Рассмотрим структуру математического обеспечения на примере задачи проектирования технологического процесса с применением сетевой математической модели производственной системы вида (рис. 6.45). Матрица контуров этой модели служит для определения возможных составов технологических операторов и средств их оснащения, обеспечивающих требуемый состав реализуемых контуров изделия. Матрица контуров и граф взаимосвязи элементов производственной системы представляют собой сетевую математическую модель СЕМК1Б.

6.7.31. Для обеспечения ввода и вывода данных на языке технолога-проектировщика компоненты модели СЕМК1Б дополняются словарями элементов производственной системы и технологических операторов, а также словарем наименований контуров; эти словари представляют лингвистические векторы *VW1, VW2* и *VW3,* связанные с соответствующими контурами и элементами моделей СЕМК1Б (рис. 6.45).

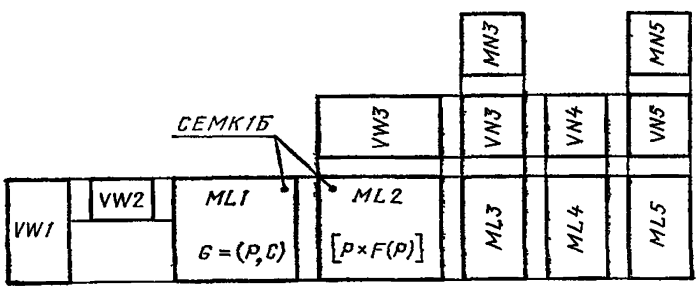


Рис. 6.45. Структура математических моделей проектирования технологического процесса:

VW1—словарь элементов производственной системы; *VW2*—словарь технологических операторов; *VW3*—словарь контуров, *ML3*—матрица распределения формул трудоемкости; *VN3*—коэффициенты пропорциональности формул трудоемкости; *MN3*—матрица показателей формул трудоемкости; *ML4*—матрица распределения коэффициентов оборудования; *VN4*—коэффициенты оборудования; *ML5*—матрица распределения формул затрат на оснастку; *VN5*—коэффициенты пропорциональности формул затрат на оснастку; *MN5*—матрица показателей формул затрат на оснастку

6.7.32. Для расчета трудоемкости и технологической себестоимости производства структурная модель СЕМК1Б дополняется количественными моделями, обеспечивающими расчет этих показателей.

Трудоемкость выполнения операции вычисляется по формуле вида

$$T_k = A_т \cdot k_{об} \prod_{i=1}^{m} a_i^{\alpha_i} t, \qquad (6.1)$$

где $A_т$ — коэффициент пропорциональности; $k_{об}$ — коэффициент, зависящий от вида оборудования; a_i — количественная величина

соответствующего контура изделия (габаритные размеры, масса, число болтов или заклепок и т. п.); α_i — количественная величина контура производственной системы, влияющая на трудоемкость выполнения операции.

Затраты на технологическую оснастку вычисляются по формуле вида

$$C_0 = B_0 \prod_{i=1}^{n} b_i^{\beta} i, \qquad (6.2)$$

где B_0 — коэффициент пропорциональности; b_i — количественная величина контура изделия; β_i — количественная величина контура средств оснащения.

Технологическая себестоимость определяется после вычисления C_0 по известным формулам.

Для обеспечения расчета величин T_k и C_0 структурная модель СЕМК1Б дополняется количественными векторами *VN3*, *VN4*, *VN5* числовых значений коэффициентов $A_т$, $k_{об}$ и B_0, и количественными таблицами *MN3*, *MN5* числовых значений α_i, β_i (см. рис. 6.45). Числовые значения контуров a_i, b_i поступают из исходных данных на проектирование технологического процесса.

6.7.33. Связь лингвистических, структурных и количественных компонентов математического обеспечения осуществляется либо непосредственно (элемент производственной системы, его наименование в лингвистическом векторе *VW1* или *VW2*, номер контура в матрице *ML2* — его наименование в лингвистическом векторе *VW3*), либо через матрицы *ML3*, *ML4*, *ML5* взаимосвязи элементов структурной и количественных моделей (рис. 6.45). Взаимосвязь всех этих компонентов математического обеспечения при проектировании технологического процесса показана на рис. 6.46.

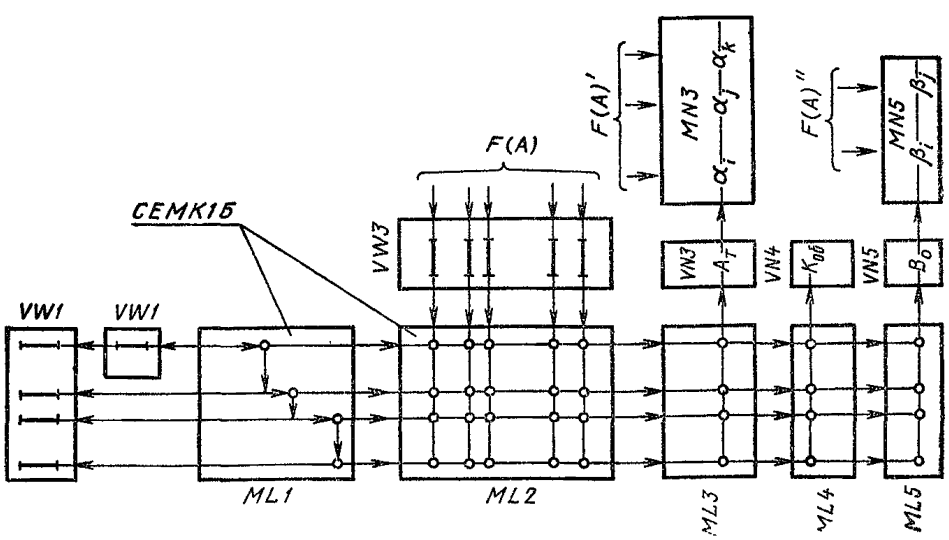


Рис. 6.46. Взаимосвязь математических моделей при проектировании технологического процесса

6.8. КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСТРА

6.8.10. Компоненты программного обеспечения САПР являются машинной реализацией алгоритмов проектирования. В системе ИСТРА содержание алгоритма проектирования зависит только от математического содержания решаемой задачи и свойств типовой математической модели; данные об объекте проектирования не влияют на содержание алгоритма, а влияют лишь на результат решаемой задачи. Это позволяет использовать одни и те же алгоритмы для решения различных задач, связанных с проектированием различных объектов.

6.8.20. Алгоритмы системы ИСТРА образуют модульную иерархическую структуру и разделяются на алгоритмы универсальных, унифицированных и специализированных проектных операций и процедур.

6.8.21. Алгоритмы универсальных проектных операций служат для выполнения вычислительных и других операций, не зависящих от вида модели порождающей среды — таких, как вычисление стандартных числовых функций, сочетаний и перестановок, определение путей в графе и т. п.

6.8.22. Алгоритмы унифицированных проектных операций служат для выполнения операций, характерных для того или иного вида модели порождающей среды: определение состава элементов по сочетательной модели, определение упорядоченной последовательности элементов по табличной, сетевой или перестановочной модели. Эти алгоритмы включают в себя в качестве входящих модулей алгоритмы универсальных проектных операций или унифицированных операций низших порядков.

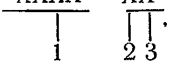
6.8.23. Алгоритмы специализированных проектных процедур предназначены для решения функционально завершенных задач проектирования конкретных объектов. Входящими модулями этих алгоритмов являются алгоритмы универсальных и унифицированных проектных операций, а также специализированных процедур низших порядков.

6.8.30. Программное обеспечение системы ИСТРА строится по модульному принципу. Структура модулей программного обеспечения соответствует структуре алгоритмов проектирования; в соответствии со структурой алгоритмов программные модули разделяются на специализированные, унифицированные и стандартные модули общей библиотеки программ ЭВМ.

6.8.40. Вновь созданные в системе ИСТРА стандартные программные модули классифицируются по видам выполняемых функций; наименования этих модулей образуют в соответствии с требованиями языка системы ИСТРА (см. п. 6.1.).

6.8.50. Унифицированные программные модули соответствуют алгоритмам унифицированных проектных операций и классифицируются в зависимости от класса (подкласса) математических моделей, обрабатываемых этими модулями.

6.8.51. Для обозначения унифицированных программных модулей, обрабатывающих типовые математические модели системы ИСТРА, принят шестисимвольный код.



включающий в себя:

1 — буквенное обозначение класса и формы связи контуров элементов математической модели;

2 — год разработки модуля;

3 — порядковый номер версии модуля.

6.8.60. Специализированные программные модули предназначены для решения функционально завершенных задач проектирования. Они могут функционировать как во взаимосвязи с другими модулями, составляя автоматизированную систему проектирования, так и автономно, решая конкретную задачу проектирования. Специализированные модули имеют несколько входов и выходов, которые используются монитором (в автоматическом) или человеком-пользователем (в автоматизированном режиме) в зависимости от состава и формы представления исходных данных, а также от результатов, получаемых в процессе проектирования.

6.8.61. Наименование специализированного модуля отражает его функциональное назначение и образуется в соответствии с требованиями языка системы ИСТРА (см. п. 6.1.).

6.9. МОДУЛИ ОБРАБОТКИ ТАБЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ

6.9.1. Модуль *TAMD31*

6.9.11. Модуль предназначен для обработки табличной модели ТАМД1А. Обращение к модулю

CALL TAMD31 (ML, VL1, VL2, SS, M, N, J, PP).

6.9.12. Входные параметры:

ML(M, N) — матрица булевых переменных;

VL1(M) — вектор булевых переменных;

VL2(M) — вектор булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матрицы.

6.9.13. Выходные параметры:

SS(J) — список элементов решения;

J — длина списка;

PP — признак окончания обработки.

6.9.14. Используемые модули: *LOGOT, LOGUM, SRWEK, LOGSL.*

6.9.15. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.47. Модуль работает следующим образом:

1. Через формальные параметры передаются матрица *ML*, векторы *VL1* и *VL2*, параметры их размерности *M*, *N*.

2. Формируется рабочий вектор *VL*, как инверсия вектора *VL1*.

3. Выполняется операция логического умножения векторов *VL* и *VL2*. Результат конъюнкции записывается в вектор *VL*.

4. Выполняется операция логического умножения векторов *VL* и строки матрицы *ML*. Результат конъюнкции записывается в вектор *VL*.

5. Сравнение вектора *VL* с нулевым вектором. Если вектор *VL* нулевой — переход к *3*, нет — *6*.

6. Запоминание элемента решения. Запись номера строки матрицы *ML* в список *SS*.

7. Выполняется операция логического сложения векторов *VL1* и *VL*. Результат дизъюнкции записывается в вектор *VL1*.

8. Сравниваются векторы *VL1* и *VL2*. Если они тождественно равны — переход к *9*, если не равны — возврат к *3*.

9. Диагностика результата. Определение признака окончания обработки. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

решение получено,

решения нет.

10. Передача на выход через формальные параметры — список *SS*, его длину *J* и признак окончания обработки *PP*.

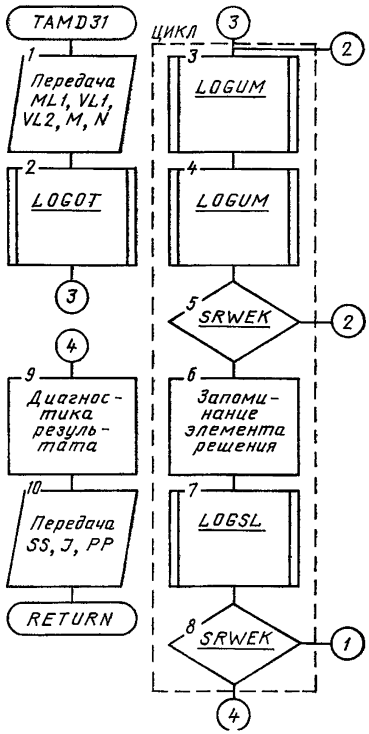


Рис. 6.47. Блок-схема алгоритма модуля *TAMД31*

6.9.2. Модуль *TAMD32*

6.9.21. Модуль предназначен для обработки табличной модели ТАМД1Б. Обращение к модулю:

CALL TAMD32 (ML, VL1, ML1, SS, M, N, K, J, PP).

6.9.22. Входные параметры:

ML(M, N) — матрица булевых переменных;

VL1(M) — вектор булевых переменных;

ML1(M, K) — матрица булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матрицы булевых переменных;

K — число строк матрицы булевых переменных.

6.9.23. Выходные параметры:

SS — список элементов решения;

J — длина списка;

PP — признак окончания обработки.

6.9.24. Используемые модули: *LOGUM*, *WKWEK*, *LOGOT*.

6.9.25. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.48. Модуль работает следующим образом:

1. Через формальные параметры передаются матрицы *ML*, *ML1*, вектор *VL1*, параметры их размерности *M*, *N*, *K*.

2. Формируется рабочий вектор *VL*, как инверсия вектора *VL1*.

3. Выполняется операция логического умножения каждой строки матрицы *ML1* на вектор *VL*. Результат конъюнкции записывается в строку матрицы *ML1*.

4. Проверка на включение строки матрицы *ML1* в строку матрицы *ML*. Если строка матрицы *ML* содержит строку матрицы *ML1* — переход к *5*, если нет — переход к следующим строкам матриц.

5. Запоминание элемента решения.

6. Диагностика результата. Определение признака окончания обработки. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

1 — решение получено;

0 — решения нет.

7. Передача на выход через формальные параметры — список *SS*, его длину *J* и признак окончания обработки *PP*.

6.9.3. Модуль *TAMK31*

6.9.31. Модуль предназначен для обработки табличной модели TAMK1A. Обращение к модулю

CALL TAMK31 (ML, VL, SS, M, N, J PP).

6.9.32. Входные параметры:

ML(M, N) — матрица булевых переменных;

VL(M) — вектор булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матрицы.

6.9.33. Выходные параметры:

SS(J) — список элементов решения;

J — длина списка;

PP — признак окончания обработки.

6.9.34. Используемые модули: *WKWEK*.

6.9.35. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.49. Модуль работает следующим образом:

1. Через формальные параметры передаются матрица *ML*, вектор *VL* и параметры их размерности *M*, *N*.

2. Проверка на включение вектора *VL* в строки матрицы *ML*. Если строка матрицы содержит вектор *VL* — переход к *3*, если нет — переход к следующей строке в цикле.

3. Запоминание элемента решения. Запись номера строки матрицы *ML* в список *SS*.

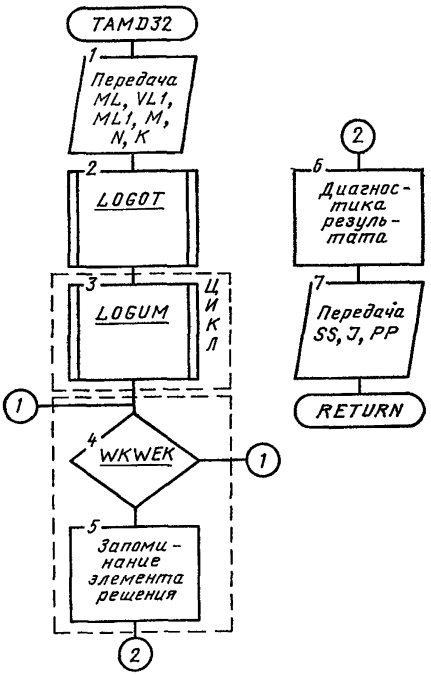


Рис. 6.48. Блок-схема алгоритма модуля *TAMD32*

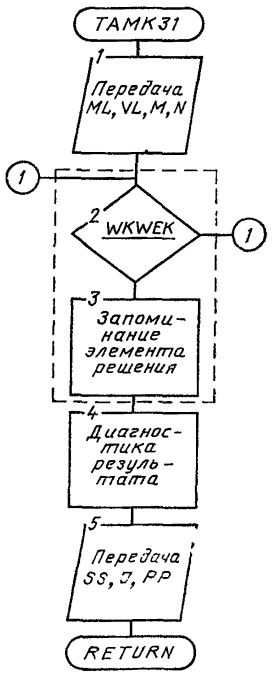


Рис. 6.49. Блок-схема алгоритма модуля *TAMK31*

4. Диагностика результата. Определение признака окончания обработки. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

1 — решение содержит хотя бы один элемент;

0 — решения нет.

5. Передача на выход через формальные параметры список *SS*, его длину *J* и признак окончания обработки *PP*.

6.9.4. Модуль *ТАМК32*

6.9.41. Модуль предназначен для обработки табличной модели ТАМК1Б. Обращение к модулю.

CALL ТАМК32 (ML, ML1, SS, M, N, K, J, PP).

6.9.42. Входные параметры:

ML(M, N) — матрица булевых переменных;

ML1(M, K) — матрица булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матрицы *ML*;

K — число строк матрицы *ML1*.

6.9.43. Выходные параметры:

SS(J) — список элементов решения;

J — длина списка;

PP — признак окончания обработки.

6.9.44. Используемые модули: *WKWEK*.

6.9.45. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.50.

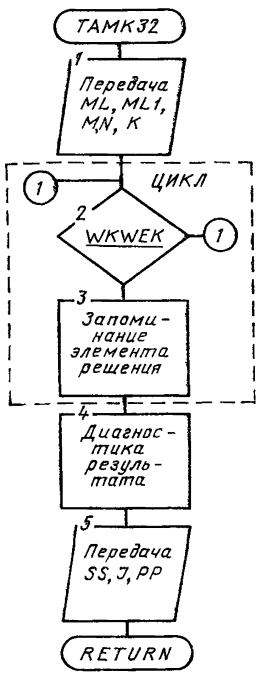


Рис. 6.50 Блок-схема алгоритма модуля ТАМК32

Модуль работает следующим образом:

1. Через формальные параметры передаются матрицы *ML, ML1* и параметры их размерности *M, N, K*.

2. Проверка на включение строки матрицы *ML1* в строку матрицы *ML*. Если строка матрицы *ML* содержит строку матрицы *ML1* — переход к *3*, если нет — к следующим строкам матриц.

3. Запоминание элемента решения, запись номера строки матрицы *ML1* в список *SS*.

4. Диагностика результата. Определение признака окончания обработки. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

1 — определено решение для всех строк матрицы *ML1*,

0 — нет решения хотя бы для одной строки матрицы *ML1*.

5. Через формальные параметры на выход передаются список *SS*, его длина *J*, признак окончания обработки.

6.10. МОДУЛИ ОБРАБОТКИ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

6.10.1. Модуль *SEMD31*

6.10.11. Модуль предназначен для обработки сетевой модели СЕМД1А. Обращение к модулю

CALL SEMD31 (ML1, ML2, VL1, VL2, MS, M, N, N1, K, J, PP).

6.10.12. Входные параметры:

ML1(M, N) — матрица булевых переменных;

ML2(N1, N) — матрица булевых переменных;

VL1(M) — вектор булевых переменных;

VL2(M) — вектор булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матриц булевых переменных;

N1 — количество машинных слов для представления числа *N;*

K — количество элементов в решении.

6.10.13. Выходные параметры:

MS(K, J) — матрица вариантов решений;

J — число вариантов решения;

PP — признак окончания обработки.

6.10.14. Используемые модули: *PUTIS1, TAMD31.*

6.10.15. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.51. Модуль работает следующим образом:

1. Через формальные параметры передаются матрицы *ML1, ML2,* векторы *VL1* и *VL2,* параметры их размерности *M, N, N1* и число *K.*

2. В ранжированном графе, представленном матрицей *ML2,* строится путь фиксированной длины *K.*

3. Если путь построен — переход к *6,* нет — к *4.*

4. Диагностика результата. Определяется признак окончания обработки модели. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

1 — получен хотя бы один вариант решения;

0 — не получено ни одного варианта решения.

5. Передача на выход через формальные параметры матрицы *MS,* параметра ее размерности *J* и признака окончания обработки.

6. По табличной модели TAMD1A, соответствующей построенному пути, определяется состав элементов решения.

7. Проверка достаточности пути. Если по табличной модели TAMD1A определен достаточный состав элементов решения — переход к *8,* нет — возврат к *2* .

8. Проверка необходимости пути. Если путь соответствует составу элементов решения, полученного по табличной модели — переход к *9,* нет — возврат к *2.*

9. Запоминание решения. Запись решения в матрицу *MS.*

6.10.2. Модуль *SEMD32*

6.10.21. Модуль предназначен для обработки сетевой модели СЕМД2А. Обращение к модулю

CALL SEMD32 (ML1, ML2, VL1, VL2, MS, M, N, N1, K, J, PP)

6.10.22. Входные параметры:

ML1(M, N) — матрица булевых переменных;

ML2(N1, N) — матрица булевых переменных;
VL1(M) — вектор булевых переменных;
VL2(M) — вектор булевых переменных;
M — количество машинных слов для представления булевых переменных;
N — число строк матриц булевых переменных;
N1 — количество машинных слов для представления числа;
K — максимальное количество элементов в решении.

6.10.23. Выходные параметры:
MS(K, J) — матрица вариантов решений;
J — число вариантов решения;
PP — признак окончания обработки.

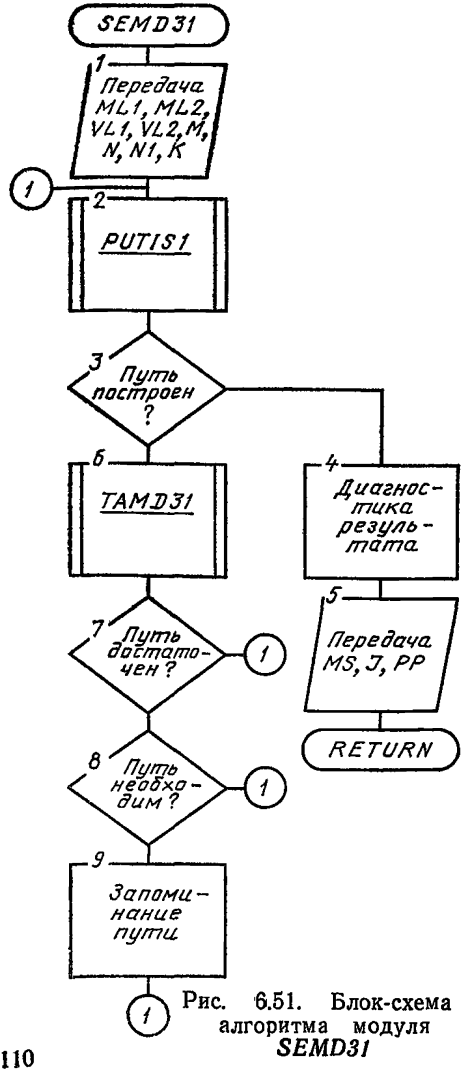


Рис. 6.51. Блок-схема алгоритма модуля *SEMD31*

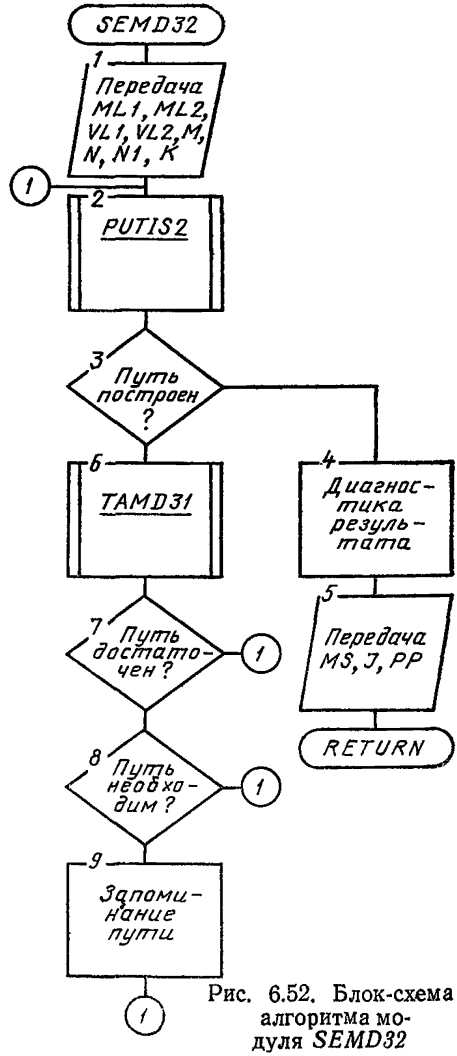


Рис. 6.52. Блок-схема алгоритма модуля *SEMD32*

6.10.24. Используемые модули: *PUTIS2, TAMD31.*

6.10.25. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.52. Модуль работает следующим образом:

1. Через формальные параметры передаются матрицы *ML1, ML2,* векторы *VL1* и *VL2* параметры их размерности *M, N, N1* и число *K.*

2. В ориентированном графе, представленном матрицей *ML2,* строится путь произвольной длины *K.*

3. Если путь построен — переход к *6,* нет — к *4.*

4. Диагностика результата. Определяется признак окончания обработки модели. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

1 — получен хотя бы один вариант решения;

0 — не получено ни одного варианта решения.

5. Передача на выход через формальные параметры матрицы *MS,* параметра ее размерности *J* и признака окончания обработки.

6. По табличной модели TAMD1A, соответствующей построенному пути, определяется состав элементов решения.

7. Проверка достаточности пути. Если по табличной модели TAMD1A определен достаточный состав элементов решения — переход к *8,* нет — возврат к *2.*

8. Проверка необходимости пути. Если путь соответствует составу элементов решения, полученного по табличной модели — переход к *9,* нет — возврат к *2.*

9. Запоминание решения. Запись решения в матрицу *MS.*

6.10.3. Модуль *SEMK31*

6.10.31. Модуль предназначен для обработки сетевой модели СЕМК1А. Обращение к модулю

CALL SEMK31 (ML1, ML2, VL, MS, M, N, N1, K, J, PP).

6.10.32. Входные параметры:

ML1(M, N) — матрица булевых переменных;

ML2(N1, N) — матрица булевых переменных;

VL(M) — вектор булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матриц булевых переменных;

N1 — количество машинных слов для представления булевых переменных;

K — количество элементов в решении.

6.10.33. Выходные параметры:

MS(K, J) — матрица вариантов решений;

J — число вариантов решений;

PP — признак окончания обработки.

6.10.34. Используемые модули: *PUTIS1, WEKON, WKWEK.*

6.10.35. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.53. Модуль работает следующим образом:

1. Через формальные параметры передаются матрицы *ML1, ML2,* вектор *VL,* параметры их размерности *M, N, N1* и число *K.*

2. В ранжированном графе, представленном матрицей *ML2,* строится путь фиксированной длины *K.*

3. Если путь построен — переход к *6,* нет — к *4.*

4. Диагностика результата. Определение признака окончания обработки модели. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

1 — получен хотя бы один вариант решения;

0 — не получено ни одного варианта решения.

5. Передача на выход через формальные параметры матрицы *MS,* параметра ее размерности *J* и признака окончания обработки.

6. Формирование рабочего вектора *VL1.*

7. Определение в цикле состава контуров, реализуемого элементами пути.

8. Проверка достаточности пути. Если $VL1 \subseteq VL$ — переход к *9.* В противном случае — возврат к *2.*

6.10.4. Модуль *SEMK32*

6.10.41. Модуль предназначен для обработки сетевой модели СЕМК1Б. Обращение к модулю

CALL SEMK32 (ML1, ML2, ML, MS, M, N, N1, K1, K, J, PP).

6.10.42. Входные параметры:

ML1(M, N) — матрица булевых переменных;

ML2(N1, N) — матрица булевых переменных;

ML(M, K1) — матрица булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матриц булевых переменных;

N1 — количество машинных слов для представления булевых переменных;

K1 — число строк матрицы булевых переменных;

K — количество элементов в решении.

6.10.43. Выходные данные:

MS(K, J) — матрица вариантов решений;

J — число вариантов решений;

PP — признак окончания обработки.

6.10.44. Используемые модули: *PUTIS1, WEKON, WKWEK.*

6.10.45. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.54. Модуль работает следующим образом:

1. Передача через формальные параметры матриц *ML1, ML2, ML,* параметров их размерностей *M, N, N1, K1* и числа *K.*

2. В ранжированном графе, представленном матрицей *ML2,* строится путь фиксированной длины *K.*

3. Если путь построен — переход к *6,* нет — к *4.*

4. Диагностика результата. Определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

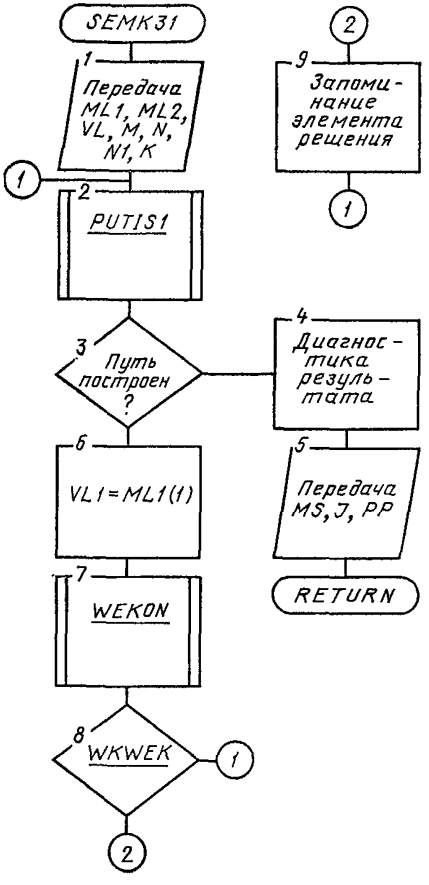


Рис. 6.53. Блок схема алгоритма модуля *SEMK31*

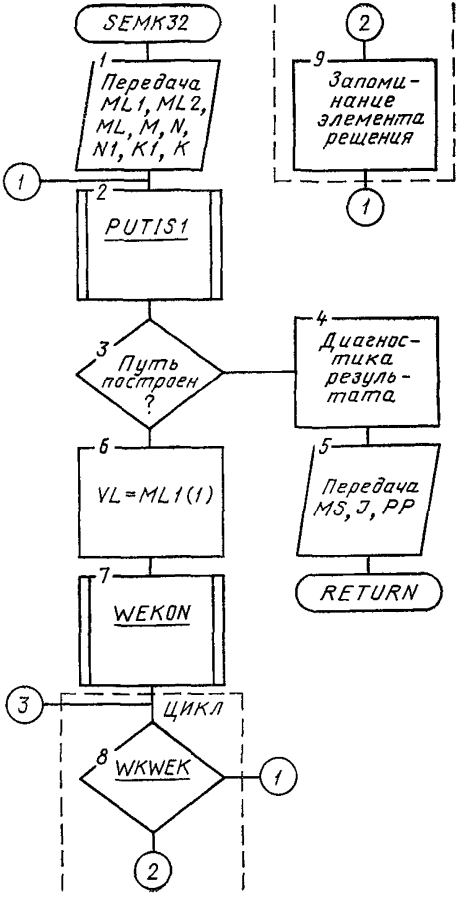


Рис. 6.54. Блок-схема алгоритма модуля *SEMK32*

получен хотя бы один вариант решения для каждой строки матрицы *ML;*

не получено ни одного варианта решения хотя бы для одной строки матрицы *ML.*

5. Передача на выход через формальные параметры матрицы *MS,* параметра ее размерности *J* и признака окончания обработки.

6. Формируется рабочий вектор *VL.*

7. Определяется состав контуров, реализуемых элементами пути.

8. Проверка достаточности пути. Если $VL \subseteq ML(I)$ — переход к *9.* В противном случае — возврат к *2.*

6.10.5. Модуль *SEMK33*

6.10.51. Модуль предназначен для обработки сетевой модели СЕМК2А. Обращение к модулю.

CALL SEMK33 (ML1, ML2, VL, MS, M, N, N1, K, J, PP)

6.10.52. Входные параметры:

ML1(M, N) — матрица булевых переменных;

ML2(N1, N) — матрица булевых переменных;

VL(M) — вектор булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матриц булевых переменных;

N1 — количество машинных слов для представления булевых переменных;

K — максимальное количество элементов в решении.

6.10.53. Выходные параметры:

MS(K, J) — матрица вариантов решений;

J — число вариантов решений;

PP — признак окончания обработки.

6.10.54. Используемые модули: *PUTIS2, WEKON, WKWEK.*

6.10.55. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.55. Модуль работает следующим образом:

1. Через формальные параметры передаются матрицы *ML1, ML2,* вектор *VL* и параметры их размерности *M, N, N1.*

2. В ориентированном графе, представленном матрицей *ML2,* строится путь произвольной длины *K.*

3. Если путь построен — переход к *6,* нет — к *4.*

4. Диагностика результата. Определение признака окончания обработки модели. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

1 — получен хотя бы один вариант решения;

0 — не получено ни одного варианта решения.

5. Передача на выход через формальные параметры матрицы *MS,* параметра ее размерности *J* и признака окончания обработки.

6. Формирование рабочего вектора *VL1*.

7. Определение в цикле состава контуров, реализуемого элементами пути.

8. Проверка достаточности пути. Если $VL1 \subseteq VL$ — переход к *9*. В противном случае — возврат к *2*.

6.10.6. Модуль *SEMK34*

6.10.61. Модуль предназначен для обработки сетевой модели СЕМК2Б. Обращение к модулю

6.10.61. Модуль предназначен для обработки сетевой модели

CALL SEMK34 (ML1, ML2, ML, MS, M, N, N1, K1, J, PP)

6.10.62. Входные параметры:

ML1(M, N) — матрица булевых переменных;

ML2(N1, N) — матрица булевых переменных;

ML(M, K1) — матрица булевых переменных;

M — количество машинных слов для представления булевых переменных;

N — число строк матриц булевых переменных;

N1 — количество машинных слов для представления булевых переменных;

K1 — число строк матрицы булевых переменных;

K — максимальное количество элементов в решении.

6.10.63. Выходные данные:

MS(K, J) — матрица вариантов решений;

J — число вариантов решений;

PP — признак окончания обработки.

6.10.64. Используемые модули: *PUTIS2, WEKON, WKWEK*.

6.10.65. Блок-схема алгоритма модуля приведена на рис. 6.56. Модуль работает следующим образом:

1. Передача через формальные параметры матриц *ML1, ML2, ML* и параметров их размерностей *M, N, N1, K1*.

2. В ориентированном графе, представленном матрицей *ML2*, строится путь произвольной длины *K*.

3. Если путь построен — переход к *6*, нет — к *4*.

4. Диагностика результата. Определяется признак окончания обработки. Допускается два исхода с соответствующими признаками:

получен хотя бы один вариант решения для каждой строки матрицы *ML;*

не получено ни одного варианта решения хотя бы для одной строки матрицы *ML*.

5. Передача на выход через формальные параметры матрицы *MS*, параметра ее размерности *J* и признака окончания обработки.

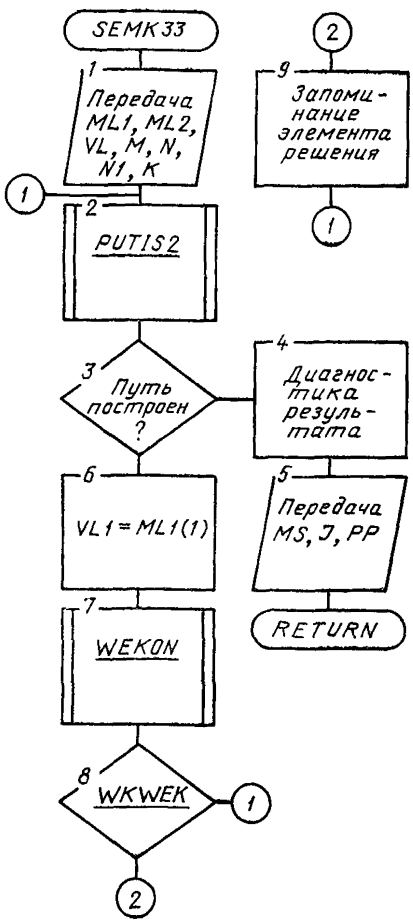


Рис. 6.55. Блок-схема алгоритма модуля *SEMK33*

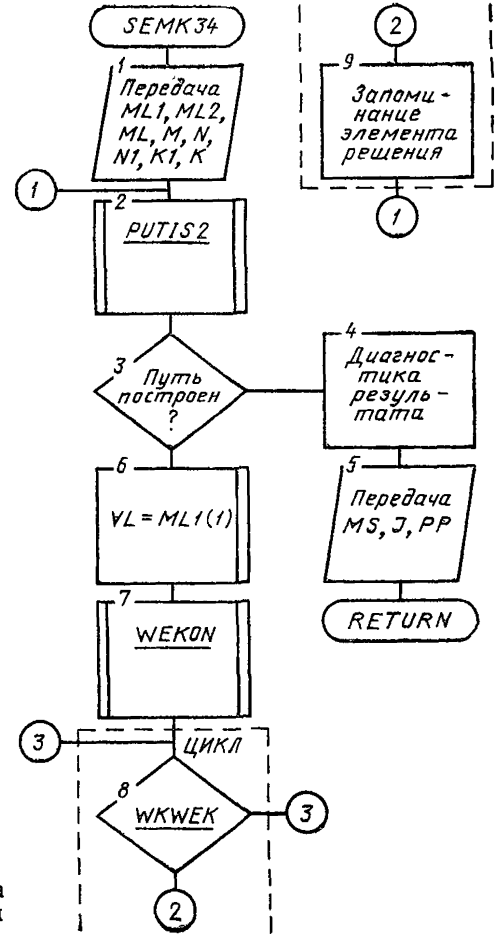


Рис. 6.56. Блок-схема алгоритма модуля *SEMK34*

6. Формирование рабочего вектора *VL*.

7. Определение состава контуров, реализуемых элементами пути.

8. Проверка достаточности пути. Если $VL \subseteq ML(I)$ — переход к *9*. В противном случае — возврат к *2*.

6.11. МОДУЛИ ОБРАБОТКИ ПЕРЕСТАНОВОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ

6.11.1. Модуль *PEMD31*

6.11.11. Модуль *PEMD31* предназначен для обработки перестановочной модели *ПЕМD1A*. Обращение к модулю:

CALL PEMD31 (N, PL1, PL2, S, MS, K, PP).

6.11.12. Входные данные:

N — количество элементов порождающей среды;

RL1(S, N) — таблица логических условий для элементов модели;

RL2(S, N) — таблица логических условий для элементов модели;

S — максимальная длина строки таблицы логических условий.

6.11.13. Выходные данные:

MS(N, K) — матрица вариантов проектных решений;

K — количество вариантов решений;

PP — признак прерывания.

6.11.14. Используемые модули:

6.11.15. Блок-схема алгоритма модуля *PEMD31* приведена на рис. 6.57. Алгоритм должен обеспечивать построение всех возможных перестановок из *N* элементов и проверять их по условиям *RL1* и *RL2*. Использование этих условий в процессе построения и перестановок позволяет в несколько раз сократить объем вычислений. Такая объединенная процедура выполняется модулем *FOPE∅1*.

Алгоритм модуля *PEMD31* построен следующим образом:

1. Передача через формальные параметры информации об исходных данных.

2. Построение перестановки с учетом ограничений *RL1* и *RL2*. Для этого используется модуль *FOPE∅1*.

3. В случае, если перестановка получена, осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *6*.

4. Перестановка запоминается как вариант проектного решения.

5. В случае, если перестановка последняя, осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *2*.

6. Формируется признак прерывания процесса обработки *PP* (диагностика проектного решения). Возможны следующие варианты:

$PP = \emptyset$ — получен один или несколько вариантов решения;

PP=1 — не получено ни одной перестановки, удовлетворяющей условиям *RL1* и *RL2*.

7. Через формальные параметры осуществляется передача результатов обработки модели.

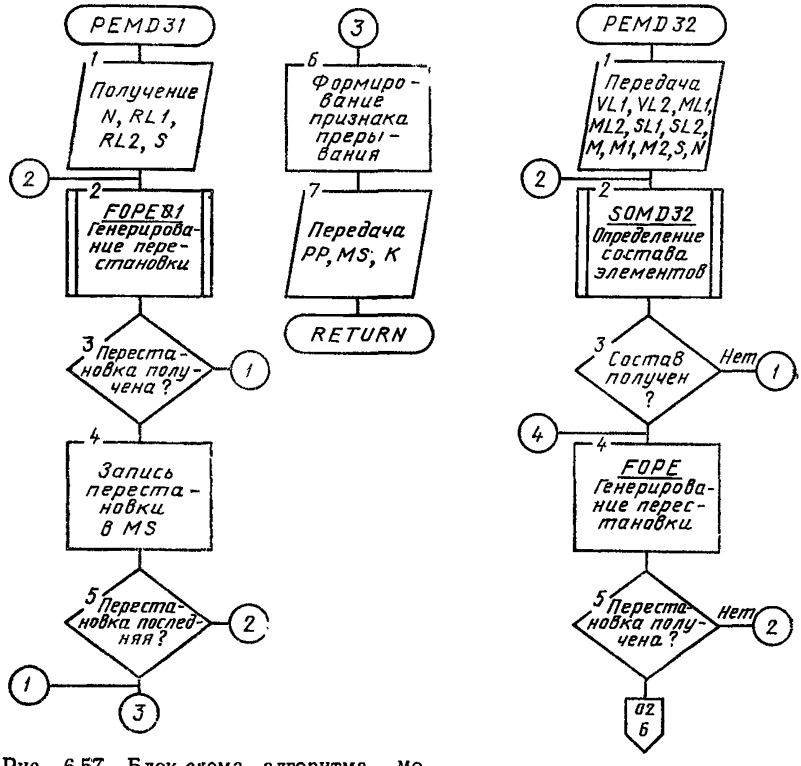


Рис. 6.57. Блок-схема алгоритма модуля *PEMD31*

6.11.2. Модуль *PEMD32*

6.11.21. Модуль *PEMD32* предназначен для обработки перестановочной модели *ПЕМD3A*. Обращение к модулю:

CALL PEMD32 (VL1, VL2, ML1, M, M1, M2, N, RL1, RL2, S, MS, K, PP).

6.11.22. Входные данные:

VL1(M1) — вектор логических переменных;

VL2(M1) — вектор логических переменных;

ML1(M1, N) — матрица логических переменных;

ML2(M2, N) — матрица логических переменных;

M2 — количество машинных слов, необходимых для представления *N* логических переменных;

M — количество логических переменных, описывающих свойства изделия;

M1 — количество машинных слов для представления *M* логических переменных;

N — количество элементов модели порождающей среды;

RL1(S, N) — таблица логических условий для элементов модели;

RL2(S, N) — таблица логических условий для элементов модели;

S — максимальная длина строки таблицы логических условий.

6.11.23. Выходные данные:

MS(N, K) — матрица вариантов проектных решений;

K — количество вариантов решений;

PP — признак прерывания.

6.11.24. Используемые модули: *SOMD32, FOPEØ1.*

6.11.25. Блок-схема алгоритма модуля *PEMD32* приведена на рис. 6.58. Алгоритм построен следующим образом:

1. Передача через формальные параметры информации об исходных данных и модели.

2. Определяется состав элементов модели, удовлетворяющий решению по реализуемому составу контуров. Используется модуль COMD32.

3. В случае, если состав элементов определен — осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *10.*

4. Выполняется построение перестановки с учетом ограничений *RL1* и *RL2.* Используется модуль *FOPEØ1.*

5. Если перестановка получена, осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *2.*

6. Выполняется проверка перестановки по условию *ML2.* В случае,

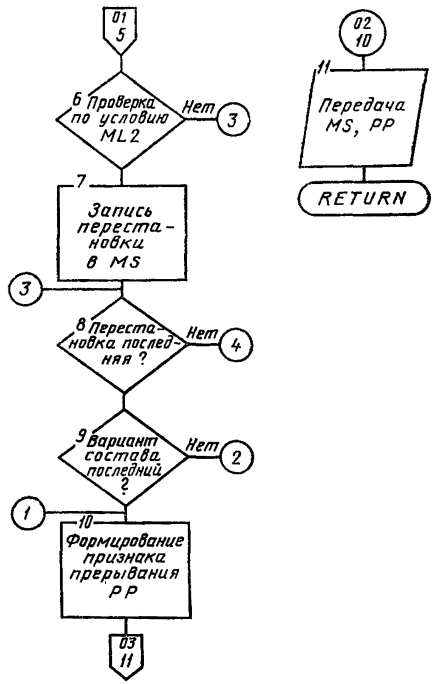


Рис. 6.58. Блок-схема алгоритма модуля *PEMD32*

если перестановка удовлетворяет условию, то осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *8*.

7. Перестановка запоминается как вариант проектного решения.

8. В случае, если перестановка последняя, осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *4*.

9. В случае, если вариант состава последний, осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *2*.

10. Формируется признак прерывания *PP* (диагностика результатов обработки):

PP=0 — получен один или несколько вариантов решений;

PP=1 — не получено ни одного решения, удовлетворяющего по составу реализованных контуров;

PP=2 — не получено ни одного решения, удовлетворяющего по последовательности *(RL1, RL2)* элементов;

PP=3 — не получено ни одного решения, удовлетворяющего по условиям смежности *(ML2)* элементов.

11. Через формальные параметры результаты проектирования передаются в вызывающий модуль.

6.11.3. Модуль *PEMK32*

6.11.31. Модуль *PEMK32* предназначен для обработки перестановочной модели *ПЕМК3Б*. Обращение к модулю:

CALL PEMK32 (ML2, ML1, K1, M, M1, N, RL1, RL2, S, MS, K, PP).

6.11.32. Входные данные:

ML2(M1, K1) — матрица логических переменных, условно объединяющая вектора VL_j, $j=\overline{1, K1}$ (см. описание ПЕМК3Б);

ML1(M1, N) — матрица логических переменных;

K1 — количество строк матрицы *ML2;*

M — количество логических переменных, описывающих свойства изделия;

M1 — количество машинных слов, для представления логических переменных;

N — количество элементов модели порождающей среды;

RL1(S, N) — таблица логических условий для элементов модели;

RL2(S, N) — таблица логических условий для элементов модели;

S — максимальная длина строки таблицы логических условий.

6.11.33. Выходные данные:

MS(N, K) — матрица вариантов проектных решений;

K — количество вариантов решений;

PP — признак прерывания.

6.11.34. Используемые модули: *SEMK34, FOPE01.*

6.11.35. Блок-схема алгоритма модуля *PEMK32* приведена на рис. 6.59. Алгоритм построен следующим образом:

1. Передача через формальные параметры информации об исходных данных в модели.

2. Определяется состав элементов модели, удовлетворяющей решению по реализуемому составу контуров. Используется модуль *SEMK34*.

3. В случае, если состав элементов определен — осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *9*.

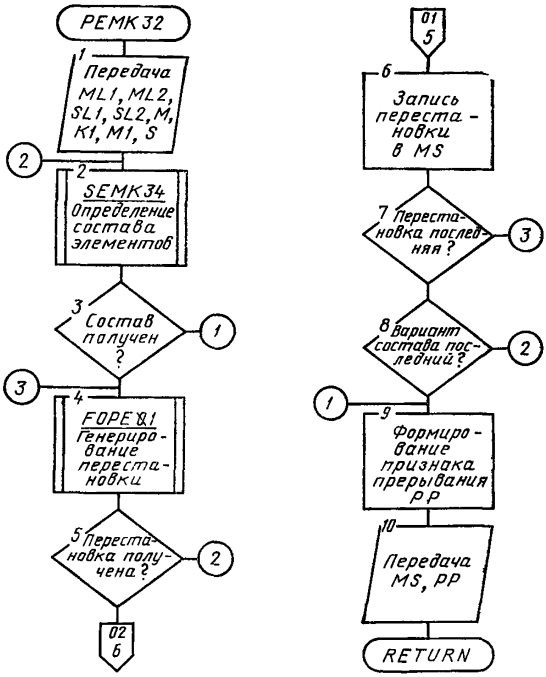


Рис. 6.59. Блок-схема модуля *PEMK32*

4. Построение перестановки с учетом ограничений *RL1* и *RL2*. Используется модуль *FOPE01*.

5. Если перестановка получена — осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *2*.

6. Перестановка запоминается как вариант проектного решения.

7. В случае, если перестановка последняя — осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку *4*.

8. В случае, если вариант состава элементов модели последний — осуществляется переход к следующему блоку, в противном случае — к блоку 2.

9. Формируется признак прерывания *PP* (диагностика результатов обработки):

PP=0 — получен один или несколько вариантов решения;

PP=1 — не получено ни одного решения, удовлетворяющего по составу реализуемых контуров;

PP=2 — не получено ни одного решения, удовлетворяющего по последовательности (условия *RL1* и *RL2*) элементов.

10. Через формальные параметры результаты проектирования передаются в вызывающий модуль.

6.12. МОДУЛИ ОБРАБОТКИ СОЧЕТАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

6.12.1. Модуль *SOMD32*

6.12.11. Модуль *SOMD32* предназначен для обработки сочетательной модели COMD3A. Обращение к модулю:

CALL SOMD32 (ML1, NL1, VL2, M, M1, N, MS, K, PP, ML2, MN, G1, G2, P1).

6.12.12. Входные данные:

ML1(M1, N) — матрица логических переменных в поразрядном представлении;

VL1(M1) — вектор логических переменных, задающий исходное состояние;

VL2(M1) — вектор логических переменных, задающий конечное состояние;

M — количество логических переменных векторов *VL1* и *VL2* матриц *M1* и *ML2;*

M1 — количество машинных слов для представления логических переменных векторов *NL1, VL2,* матриц *ML1, ML2;*

N — количество строк матриц *ML1, ML2.*

6.12.13. Выходные данные:

MN(G1, G2) — матрица вариантов проектных решений;

G1 — количество вариантов решений;

G2 — признак прерывания (целое число).

6.12.14. Используемые модули: *TAMD31, SOT01.*

6.12.15. Блок-схема алгоритма модуля *COMD32* приведена на рис. 6.60:

1. Через формальные параметры модулю передаются исходные данные и модель.
2. Генерируется очередное сочетание.
3. Формируется матрица *ML2* возможного решения.
4. По модулю *TAMD31* находится решение.
5. Диагностика решения.
6. Передача результата в вызывающую модель.

6.12.2. Модуль *SOMD33*

6.12.21. Модуль *SOMD33* предназначен для обработки сочетательной модели *COMD3Б*. Обращение к модулю:

CALL SOMD33 (VL1, VL2, ML1, M, M1, N, MS, K, PP, MN, G1, G2, P1, ML2).

6.12.22. Входные данные:

ML1(M1, N) — матрица логических переменных в поразрядном представлении;

VL1(M1) — вектор логических переменных, задающий исходное состояние;

VL2(M1) — вектор логических переменных, задающий конечное состояние;

M — количество логических переменных векторов *VL1* и *VL2*, матриц *M1* и *ML2;*

M1 — количество машинных слов для представления логических переменных векторов *VL1, VL2,* матриц *ML1, ML2;*

N — количество строк матриц *ML1, ML2.*

Ограничения:

P1 — переменная ограничений (целое число);

MN(G1, G2) — матрица ограничений;

G1 — количество элементов одного ограничения;

G2 — количество ограничений.

6.12.23. Выходные данные:

MS(N, K) — матрица вариантов проектных решений;

K — количество вариантов решений;

PP — признак прерывания.

6.12.24. Используемые модули: *TAMD31, SOT01.*

6.12.25. Блок-схема алгоритма модуля *SOMD33* приведена на рис. 6.61:

1. Через формальные параметры модулю передаются исходные данные, ограничения и модель.
2. Генерируется очередное состояние.
3. Формируется матрица *ML2* возможного решения.
4. По модулю *TAMD31* находится решение.
5. Диагностика решения.
6. Передача результата в вызывающую модель.

6.12.3. Модуль *SOMK32*

6.12.31. Модуль *SOMK32* предназначен для обработки модели COMK2A. Обращение к модулю:

CALL SOMK32 (ML1, VL1, M, M1, N, MS, K, PP, ML2).

6.12.32. Входные данные:

ML1(M1, N) — матрица логических переменных;

VL1(M1) — вектор логических переменных, задающий изделие;

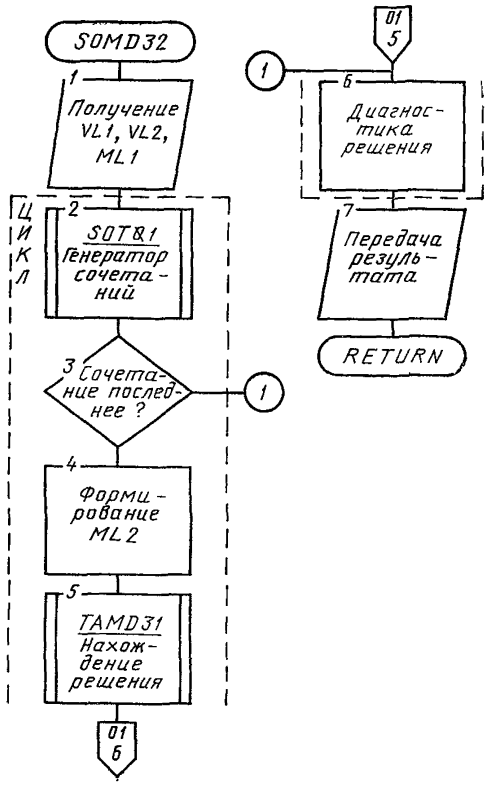


Рис. 6.60. Блок-схема алгоритма модуля *SOMZ32*

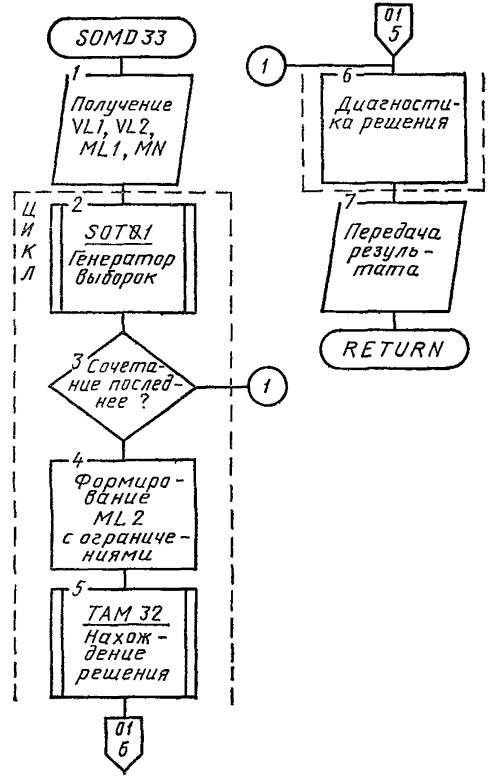


Рис. 6.61. Блок-схема алгоритма модуля *SOMD33*

M — количество логических переменных *ML1, VL1, ML2;*
M1 — количество машинных слов вектора *VL1,* матриц *ML1, ML2;*
N — количество строк матрицы *ML1, ML2.*

6.12.33. Выходные данные:
MS(N, K) — матрица вариантов проектных решений;
K — количество вариантов решений;
PP — признак прерывания.

6.12.34. Используемые модули: *ТАМК32, SOT01.*

6.12.35. Блок-схема алгоритма модуля *SOMK32* приведена на рис. 6.62:

1. Через формальные параметры модулю передаются исходные данные и модель.
2. Генерируется очередное сочетание.
3. Формируется матрица *ML2* возможного решения.
4. По модулю ТАМК32 находится решение.
5. Диагностика решения.
6. Передача результатов в вызывающую модель.

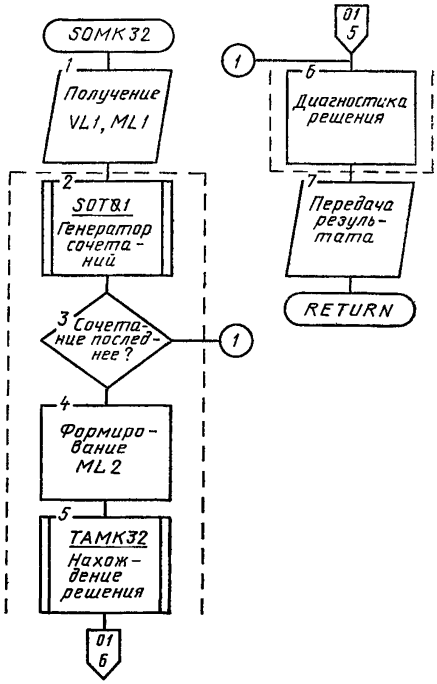


Рис. 6.62. Блок-схема алгоритма модуля *SOMK32*

6.12.4. Модуль *SOMK33*

6.12.41. Модуль *SOMK33* предназначен для обработки сочетательной модели СОМК2Б. Обращение к модулю:
CALL SOMK33 (ML1, VL1, M, M1, N, MS, K, ML2, PP, ML3).

6.12.42. Входные данные:

ML1(M1, N) — матрица логических переменных;
VL1(M1) — вектор логических переменных, задающий изделие;
M — количество логических переменных *ML1, ML2, VL1;*
M1 — количество машинных слов вектора *VL1,* матриц *ML1, ML2;*
N — количество строк матрицы *ML1, ML2.*

Ограничения:

ML3(N, N) — матрица графа ограничений;

6.12.43. Выходные данные:

MS(N, K) — матрица вариантов проектных решений;

K — количество вариантов решений;

PP — признак прерывания.

6.12.44. Используемые модули: *TAMK32, SOT01.*

6.12.45. Блок-схема алгоритма модуля *SOMK33* приведена на рис. 6.63:

1. Через формальные параметры модулю передаются исходные данные, модель и ограничения.
2. Генерируется очередное сочетание.
3. Формируется матрица *ML2* возможного решения с ограничениями.
4. По модулю *TAMK32* находится решение.
5. Диагностика решения.
6. Передача результатов в вызывающую модель.

6.12.5. Модуль *SOMK34*

6.12.51. Модуль *SOMK34* предназначен для обработки сочетательной модели *COMK3A*. Обращение к модулю:

CALL SOMK34 (ML1, VL1, M, M1, N, MS, K, ML2, PP, ML3).

6.12.52. Входные данные:

ML1(M1, N) — матрица логических переменных;

VL1(M1) — вектор логических переменных, задающий изделие;

M — количество логических переменных *ML1, ML2, VL1;*

M1 — количество машинных слов векторов *VL1,* матрицы *ML1, ML2;*

N — количество строк матрицы *ML1, ML2, ML3.*

6.12.53. Выходные данные:

MS(N, K) — матрица вариантов проектных решений;

K — количество вариантов решений;

PP — признак прерывания.

6.12.54. Используемые модули: *TAMK32, SOTØ1.*

6.12.55. Блок-схема алгоритма модуля *SOMK34* приведена на рис. 6.64:

1. Через формальные параметры модулю передаются исходные данные и модель.
2. Генерируется очередное сочетание.
3. Формируется матрица *ML2* возможного решения.
4. По модулю *TAMK32* находится решение.
5. Диагностика решения.
6. Передача результатов в вызывающую модель.

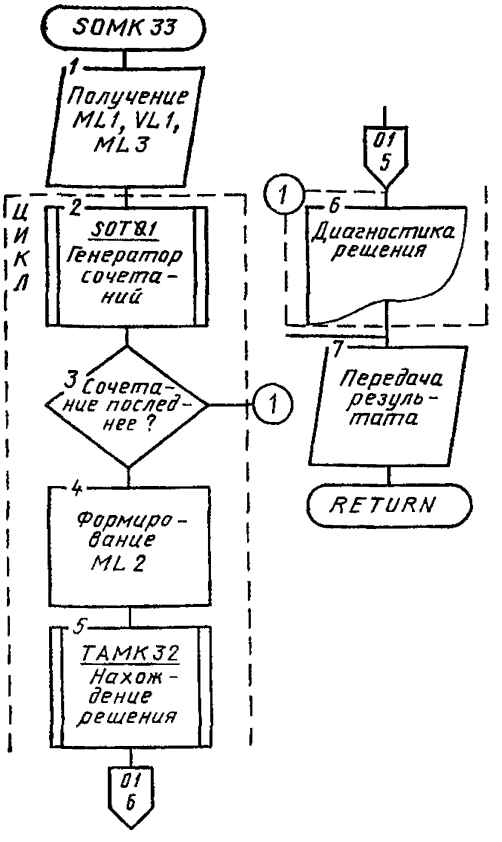


Рис. 6.63. Блок-схема алгоритма модуля *SOMK33*

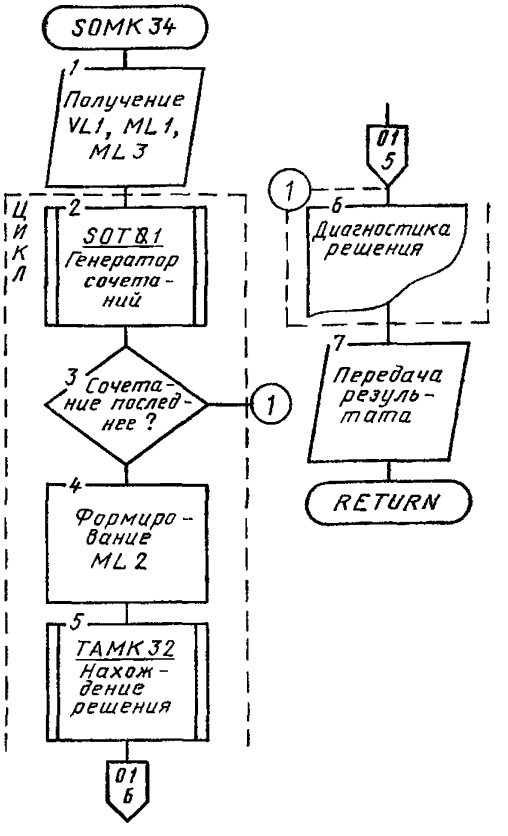


Рис. 6.64. Блок-схема алгоритма модуля *SOMK34*

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

П1. НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛОГИКИ, ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ И ТЕОРИИ ГРАФОВ

П 1.1.10. Аппарат математической логики применяется в тех случаях, когда взаимосвязь между факторами анализируется путем логических рассуждений. Любое рассуждение состоит из цепочки высказываний, вытекающих друг из друга по определенным правилам. Чтобы установить, истинен или ложен вывод, полученный рассуждением, надо, во-первых, убедиться в истинности исходных предложений, а во-вторых, выяснить, правильна ли использованная форма логического вывода. В классической логике рассматривают лишь утверждения, относительно которых можно наверняка сказать — истинны они или ложны. Все дальнейшие операции над этими высказываниями производятся без выяснения их смысла, а опираясь лишь на то, истинны эти высказывания или ложны.

П 1.1.11. Правила преобразования высказываний являются частью математической логики. Высказыванием в математической логике называют любое повествовательное предложение, о котором можно сказать, истинно оно или ложно. Высказывания могут обозначаться с помощью слов, отдельных символов — *A, B, ..., p, q,* наборов символов, и т. д.

Для обозначения истинности или ложности высказываний будем пользоваться числами {1,0}:

если высказывание A истинно, то $A=1$;

если высказывание A ложно, то $A=0$.

П 1.1.12. В рассуждениях постоянно встречаются повествовательные предложения, образованные путем видоизменения высказывания с помощью слова «не» или путем связывания высказываний с помощью слов «и», «или», «если ..., то» (или «влечет»), «тогда и только тогда, когда». Эти слова или их комбинации называют сентенциональными связками, и обозначаются символами: $\neg$ — «не»; $\wedge$ — «и»; $\vee$ — «и (или)»; ∇ — «или ..., или ...»; $\rightarrow$ — «если ..., то»; $\leftarrow\rightarrow$ — «тогда и только тогда, когда». Используя связки, из исходных высказываний получают новое высказывание, которое называют:

$\neg A$ — отрицание высказывания A (не A) — очевидно, если $A=1$, то $\neg A=0$, и наоборот;

$A \wedge B$ — конъюнкция (логическое произведение) высказываний A, B, (A и B);

$A \vee B$ — дизъюнкция (логическая сумма) высказываний A, B (A и/или B);

$A \nabla B$ — разделительная дизъюнкция (разделительная логическая сумма) высказываний A, B (или A, или B, но не оба одновременно);

$A \rightarrow B$ — импликация высказываний A, B (если A, то B), где A является посылкой, а B — следствием;

$A \rightarrow\leftarrow B$ — эквиваленция высказываний A, B (A тогда и только тогда, когда B).

П 1.1.13. Истинностное значение сложного высказывания в зависимости от истинности или ложности исходных высказываний можно свести в краткую истинностную таблицу:

A, B	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \nabla B$	$A \rightarrow B$	$A \leftarrow\rightarrow B$
1,1	1	1	0	1	1
1,0	0	1	1	0	0
0,1	0	1	1	1	0
0,0	0	0	0	1	1

П 1.1.20. Кроме высказываний, в математической логике используются термы, предикаты и кванторы. Термами называют предметные переменные и постоянные логические величины; функция предметных переменных подобна функции местоимений и нарицательных имен в обычном языке, а функция предметных постоянных подобна роли имен собственных. Каждая переменная имеет свою область определения, включающую в себя множество значений, которые может принимать эта переменная.

П 1.1.21. Предикатом (n-местным) называется выражение, обладающее тем свойством, что приписывая значения переменным a_1, a_2, ..., a_n из соответствующих областей определения, мы получаем высказывание. Превратить предикат в высказывание можно не только подстановкой значений переменных, но и постановкой перед предикатом слов: «все», «существует» и др., называемых кванторами. Различают два основных вида кванторов: квантор общности $\forall$ и квантор существования $\exists$. Квантор общности определяет выражение вида «для всех ... справедливо», «для каждого... имеет место» и т. п. Квантор существования определяет выражение вида «существует ... такое, что имеет место», «существует хотя бы один... такой, что имеет место» и т. п.

П 1.2.10. При рассмотрении наиболее общих свойств объектов используется понятие множества. Множество — это совокупность объектов любой природы, называемых элементами данного множества. Если объект a_i принадлежит множеству A (объект a_i является элементом множества A), то пишут $a_i \in A$ или $A \ni a_i$; если a_i не принадлежит A, то пишут $a_i \notin A$.

П1.2.11. Множество считают заданным, если о любом объекте можно сказать, принадлежит он данному множеству или не принадлежит. Множество A можно задать, перечислив все его элементы, например

$$A=\{a_1,\ a_3,\ a_6,\ a_{12}\}.$$

Другой способ задания множества состоит в том, что указываются характеристические свойства элементов этого множества, например — каждый объект a_i с составом свойств $\{F_1, F_3, F_9\}$ принадлежит к множеству A:

$$\forall a_i, F(a_i)=\{F_1,\ F_3,\ F_9\}[a_i\in A].$$

П 1.2.12. Множества A и B считают равными ($A=B$), если они состоят из одних и тех же элементов. Множество B называется подмножеством множества A (обозначается $B\subseteq A$ или $A\supseteq B$), если каждый элемент B принадлежит A. Если $B\subseteq A$ и $B\neq A$, то записывают $B\subset A$ или $A\supset B$. Множество, не содержащее ни одного элемента, называют пустым множеством и обозначают символом $\varnothing$. Всякое множество A есть подмножество самого себя; пустое множество $\varnothing$ также входит в любое множество.

П 1.2.21. Пересечением множества A и B называют множество, в которое входят те и только те элементы, которые одновременно принадлежат множествам A и B:

$$\forall a_i\in A\cap B[(a_i\in A)\wedge(a_i\in B)=1].$$

Здесь символ $\cap$ — знак пересечения множеств.

П 1.2.22. Объединением множеств A и B (обозначается $A\cup B$) называется множество, состоящее из элементов, которые принадлежат хотя бы одному из этих множеств:

$$\forall a_i\in A\cup B[(a_i\in A)\vee(a_i\in B)=1].$$

П1.2.23. Разностью множеств A и B (обозначается $A\setminus B$) называется такое множество, в которое входят все те элементы, которые не принадлежат B:

$$\forall a_i\in A\setminus B[(a_i\in A)\wedge(a_i\notin B)=1];$$

очевидно $A\setminus B\neq B\setminus A$, так как

$$\forall a_j\in B\setminus A[(a_j\notin A)\wedge(a_j\in B)=1].$$

П 1.2.30. Множество A, состоящее из каких угодно элементов, называется упорядоченным, если в нем установлено отношение порядка между любыми двумя его элементами, т. е. если относительно любых двух различных элементов a_i и a_j известно, что один из них предшествует другому. Например, если a_i предшествует a_j, то записывается $a_i<a_j$; в этом случае можно также сказать, что a_j следует за a_i, $a_j\to a_i$. Чтобы различить упорядоченное и неупорядоченное множество, упорядоченное множество записывают в виде $A=(a_1, a_2, \ldots, a_n)$, а неупорядоченное — в виде $A=\{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$.

П 1.2.31. Упорядоченная пара элементов a_i, $a_j\in A$, $a_i\to a_j$, обозначается (a_i, a_j) и принимается в качестве самостоятельного элемента, в котором a_i и a_j будут компонентами или координатами этой пары (a_i, a_j). Множество всех пар (a_i, a_j) элементов множества A образует декартово произведение $A\times A$; очевидно, если A содержит n элементов, то $A\times A$ содержит n^2 элементов-пар (a_i, a_j). Вообще, декартовым произведением множеств A и B называется множество $A\times B$, элементами которого являются все пары (a_i, b_j), такие, что $a_i\in A$ и $b_j\in B$.

П1.3.10. Пара (a_i, a_j) отражает наличие бинарного отношения между элементами a_i и a_j. Наличие бинарных отношений можно выразить и в другой форме. Введем символ

$$c_{i(j)}=\begin{cases}1, \text{ если бинарное отношение между } a_i,\ a_j\\ \text{существует;}\\ 0\text{—в противном случае}\end{cases}$$

Элемент $c_{i(j)}\in C$ называется дугой графа $G=(A, C)$, а элементы a_i, $a_j\in A$ называются вершинами графа, граничными дуге $c_{i(j)}\in C$, причем a_i яв-

ляется началом и a_j — концом дуги $c_{i(j)}$. Дуга $c_{i(i)}=1$, началом и концом которой является одна и та же вершина a_i, называется петлей.

П 1.3.11. Граф $G=(A, C)$ может быть представлен в виде рисунка. На рисунке дуги графа обозначаются в виде линий со стрелками, соединяющих вершины графа. В случае наличия двух дуг $c_{i(j)}=c_{j(i)}=1$ стрелки часто не ставят, а соединяют вершины a_i, a_j одной линией без стрелок. В этом случае отношение между вершинами a_i, a_j обозначается символом $c_{ij}=1$, называемым звеном графа $G=(A, C)$. Дуги и звенья графа могут обозначаться и одиночными индексами, например — c_i, c_j, c_k, и т. д.

П 1.3.12. Граф $G=(A, C)$ может быть представлен не только в виде рисунка, но и путем перечисления элементов множества A — вершин и элементов множества C — дуг этого графа.

П 1.3.13. Граф $G=(A, C)$ может быть задан и с помощью булевой матрицы $\|c_{i(j)}\|_A$ смежности вершин. Эта матрица представляет собой прямоугольную таблицу, каждая i-я строка которой соответствует вершине $a_i \in A$, а каждый j-й столбец — вершине $a_j \in A$; элемент матрицы $c_{i(j)}=1$, если бинарное отношение a_i с a_j существует, и $c_{i(j)}=0$ — в противном случае. Если состав элементов декартова произведения $A \times A$ представить с помощью булевой матрицы, аналогичной матрице $\|c_{i(j)}\|_A$, то она будет сплошь заполнена единицами, и состав элементов $\|c_{i(j)}\|_A$ будет подмножеством состава элементов булевой матрицы декартова произведения $A \times A$. Поэтому, обозначив $[A \times A] \subseteq A \times A$, можно записать

$$\|c_{i(j)}\|_A=[A\times A]=\begin{array}{c} \begin{matrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \end{matrix} \\ \left[\begin{matrix} c_{1(1)} & c_{1(2)} & \dots & c_{1(n)} \\ c_{2(1)} & c_{2(2)} & \dots & c_{2(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n(1)} & c_{n(2)} & \dots & c_{n(n)} \end{matrix}\right] \end{array} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{matrix} .$$

П 1.3.21. Последовательность дуг $\mu=(c_{i(j)}, c_{j(k)}, \dots)$, в которой конец каждой предыдущей дуги совпадает с началом следующей дуги, называется путем в графе $G=(A, C)$. Путь будет простым, если в нем никакая дуга не встречается дважды, и составным — в противном случае. Путь μ, последовательные вершины которого суть a_1, a_2, $\dots a_k$, можно записать в виде $\mu=[a_1, a_2, \dots, a_k]$. Путь, в котором никакая вершина не встречается дважды, называется элементарным.

П 1.3.22. Если вершины a_i, a_j графа $G=(A, C)$ соединены дугой или звеном, то говорят, что между этими вершинами существует ребро, т. е. ребро отражает наличие бинарного отношения между вершинами a_i, a_j без учета направления этого отношения. Последовательность ребер, в которой у каждого ребра c_k одна из граничных вершин является также граничной вершиной для ребра c_{k-1}, а другая — граничной вершиной для c_{k+1}, называется цепью. Цепь будет простой, если все ее ребра различны, и составной — в противном случае. Граф, любые две различные вершины которого можно соединить цепью, называется связным.

П 1.3.23. Конечная цепь, начинающаяся в некоторой вершине a_k и оканчивающаяся в этой же вершине, называется циклом: цикл будет простым, если все его ребра различны, и составным — в противном случае. Цикл, при обходе которого ни одна вершина не встречается дважды, называется элементарным. Ориентированный цикл (орцикл) — это конечный путь $\mu_i=[a_{i_1}, \dots, a_{i_k}]$, у которого начальная вершина a_{i_1} совпадает с конечной вершиной a_{i_k} при этом орцикл называется элементарным, если все его вершины различны (за исключением начальной и конечной, которые совпадают).

П2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЕКТИРУЮЩИХ СИСТЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ УНИФИКАЦИИ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

П 2.10. Одной из важнейших характеристик математического обеспечения САПР является уровень унификации компонентов математического обеспечения. Рассмотрим совокупность данных об объекте проектирования A_i, математическую модель $S(A_i)$, применяемую для проектирования A_i, и алгоритм проектирования. T_i. При полном отсутствии унификации математических моделей и алгоритмов проектирования конкретному объекту проектирования A_i соответствует индивидуальная математическая модель $S(A_i)$ и индивидуальный алгоритм проектирования T_i, пригодный для работы только с моделью $S(A_i)$ и данными A_i (рис. П 2.1, а). В этом случае элементы математического и программного обеспечений САПР будут индивидуальными, несистемными, что затрудняет решение данной задачи в комплексной взаимосвязи с другими зада-

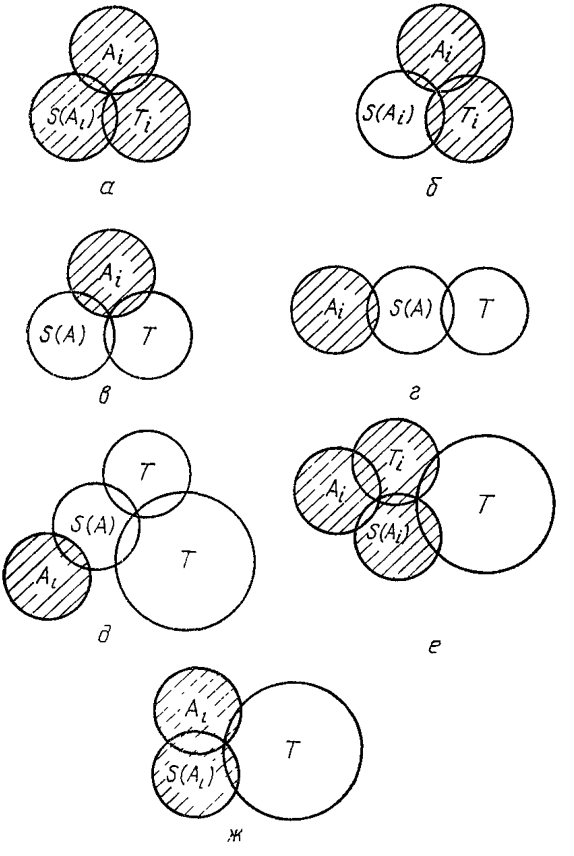


Рис. П 2.1. (*а—ж*). Взаимосвязь компонентов информационного и математического обеспечения

чами технической подготовки производства. Такой подход целесообразен только при решении весьма сложных задач, когда разработка модели $S(A_i)$ и алгоритма T_i представляет самостоятельную проблему (моделирование внешнего облика изделия, моделирование динамических нагрузок и напряжений в сложной конструкции и т. п.). При многократном решении аналогичных задач должны разрабатываться унифицированные математические модели $S(A)$, пригодные для проектирования различных объектов $A_i \in A$. При этом могут использоваться индивидуальные алгоритмы T_i — если в алгоритм входят конкретные параметры и другие данные A_i (рис. П 2.1, *б*); примером такого подхода является использование унифицированных информационно-логических таблиц и алгоритмов выбора решений [9] при автоматизации проектирования технологических процессов. Дальнейшее повышение уровня системности средств обеспечения САПР связано с унификацией алгоритмов проектирования (рис. П2.1, *в, г*). Так, для унифицированной модели $S(A)$ может быть создан унифицированный алгоритм T (рис. П 2.1, *в*); примером такого подхода является использование таблиц соответствий и унифицированных алгоритмов их обработки [1]. Наивысшим уровнем унификации будет использование модели $S(A)$ и унифицированного алгоритма T, независимого от данных о проектируемом объекте A_i (рис. П 2.1, *г*). В этом случае содержание алгоритма проектирования зависит от математического содержания решаемой задачи и свойств модели $S(A)$; данные A_i не влияют на содержание T, а влияют лишь на результат решения задачи [6].

П 2.11. Возможен и другой подход к созданию САПР, когда разрабатывается алгоритм T операционной системы большой ЭВМ, обеспечивающий комплексное решение разнообразных задач проектирования. Легче всего создать такой алгоритм при характере взаимосвязи A_i, $S(A)$ и T вида (рис. П 2.1, г); при этом T не зависит от конкретных данных A_i (рис. П 2.1, *д*).

Однако при наличии мощной ЭВМ алгоритм T может обеспечивать комплексное решение разнообразных задач, представляемых индивидуальными моделями и алгоритмами (рис. П 2.1, *е*). При этом конкретные задачи решаются с помощью собственных индивидуальных алгоритмов и машинных программ, а алгоритм T обеспечивает взаимосвязанное, комплексное решение разных задач. Наконец, в принципе, возможно создание настолько универсального алгоритма T, что он будет в состоянии решать любую задачу проектирования при наличии конкретных данных A_i и модели $S(A_i)$ (рис. П 2.1, *ж*).

П 2.20. Уровень унификации компонентов математического обеспечения непосредственно влияет на обеспечение принципов системного единства, развития и стандартизации при создании САПР, регламентированных ГОСТ 23501.0—79. Эти принципы легко выполняются при разработке математического, информационного и программного обеспечения САПР на основе единой системы математического моделирования, обеспечивающей создание взаимосвязанных моделей разнородных объектов при различной полноте представления данных, а также адаптацию различных методов моделирования, моделей и алгоритмов с целью включения их в математическое обеспечение САПР конкретного предприятия. К системам, обладающим указанными свойствами, относится ИСТРА — иерархическая система математического моделирования объектов на различных уровнях абстрагирования [6, 7]. Эта система обеспечивает возможность представления в одной математической модели разнородных, в семантическом смысле, объектов при переходе к более абстрактным уровням описания, так как некоторые свойства и отношения на более абстрактном уровне оказываются изоморфными. Эта особенность системы ИСТРА и позволяет создавать по блочному принципу системы математического и информационного обеспечения САПР, органически взаимосвязанные друг с другом и с модульной ситемой программного обеспечения. Блочность компонентов математического и информационного обеспечения САПР достигается за счет унификации форм представления математических моделей и данных; построение модульной системы программного обеспечения облегчается тем, что содержание алгоритмов в системе ИСТРА зависит только от вида математической модели и решаемой задачи, и не зависит от семантического содержания и числовых величин данных о конкретном объекте проектирования.

П 2.21. Математические модели различных объектов в системе ИСТРА строятся из унифицированных элементов. Типовыми математическими моделями системы ИСТРА являются табличные, сетевые и перестановочные модели. Табличные модели служат для поиска стандартных и готовых проектных решений; для получения унифицированных и индивидуальных проектных решений при наличии их вариантов и необходимости выбора оптимального решения используются сетевые и перестановочные модели. Сетевые модели применяются для проектирования объектов, в которых порядок элементов унифицирован; если порядок элементов в проектируемом объекте может изменяться, то применяются перестановочные модели. Если при проектировании определяется только состав элементов объекта, то используются сочетательные модели.

П 2.22. Применение типовых математических моделей системы ИСТРА позволяет свести разнообразные по смысловому содержанию процессы проектирования к ограниченному набору проектных процедур и операций, реализуемых на типовых моделях. Так, технологические возможности и свойства производственной системы описываются комплексом взаимосвязанных табличных, сетевых и перестановочных моделей технологических операторов и средств оснащения производства. Проектирование технологического процесса выполняется поэтапно путем последовательного решения задач различного уровня, начиная с определения состава этапов технологического процесса и заканчивая выбором оптимальных вариантов отдельных операций. Все эти задачи могут быть сведены к двенадцати типовым проектным операциям, реализуемым на типовых математических моделях системы ИСТРА. К этим же операциям на типовых математических моделях могут быть сведены задачи структурного проектирования и любых других объектов.

П 2.23. Использование типовых математических моделей и алгоритмов проектирования открывает широкие возможности унификации компонентов математического, информационного, лингвистического и программного обеспечения САПР.

П 2.24. Унифицированные компоненты средств обеспечения САПР в наибольшей мере соответствуют основным принципам создания САПР, т. е. соответствуют системным требованиям. Неунифицированные компоненты рассчитаны лишь на индивидуальное применение в конкретных условиях проектирования.

П 2.30. Чем более системными, т. е. соответствующими принципам создания САПР, будут средства обеспечения, тем более эффективна САПР. Классификация проектных систем в зависимости от характера математического, информационного и программного обеспечения приведена на рис. П 2.2.

Виды проектирования	Класс проектной системы	информационное обеспечение		математическое обеспечение		программное обеспечение	
		индивидуальное	системное	индивидуальное	системное	индивидуальное	системное
Неавтоматизированное проектирование	I	●		●			
	II		●	●			
	III	●			●		
	IV		●		●		
Автоматизированное проектирование	V	●		●		●	
	VI		●	●		●	
	VII	●			●	●	
	VIII		●		●	●	
Автоматизированное или автоматическое проектирование	IX	●		●			●
	X		●	●			●
	XI	●			●		●
	XII		●		●		●

Рис. П 2.2. Классификация проектных систем

П 2.31. В системах I—IV классов, не использующих средства вычислительной техники и не имеющих программного обеспечения, алгоритмы проектирования реализуются человеком без ЭВМ, т. е. в этих системах осуществляется только неавтоматизированное проектирование.

П 2.32. В САПР V—VIII классов для решения разных задач применяется индивидуальное программное обеспечение, поэтому комплексное решение этих задач осуществляется только при непосредственном участии человека, анали-

зирующего результаты решения разных задач на ЭВМ и корректирующего исходные данные для других задач с учетом этого анализа.

П 2.33. В САПР IX—XII классов применяется системное программное обеспечение, поэтому возможно комплексное решение различных задач. В САПР IX—X классов комплексность проектных решений может обеспечиваться за счет операционной системы ЭВМ — при характере взаимосвязи данных о проектируемом объекте с его математической моделью и алгоритмом проектирования вида (рис. П 2.1, д, е). В САПР XI—XII классов комплексность проектных решений может обеспечиваться и за счет операционной системы ЭВМ, и за счет системности самого математического, информационного и программного обеспечения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

П3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

П 3.1. Основные задачи конструкторского проектирования

П 3.1.10. Конструкторское проектирование охватывает этапы выбора облика и собственно проектирование изделия.

П 3.1.11. Если изделие — достаточно сложный объект (летательный аппарат, морское или речное судно, автоматическая станочная линия и т. п.), то процесс проектирования разделяется, в свою очередь, на несколько этапов, связанных с разработкой конструктивно-компоновочных схем изделия в целом и отдельных его элементов, проектированием различных систем (электрических, гидравлических, радиоэлектронных и т. п.), конструированием узлов, деталей. Все эти этапы сопровождаются большим количеством разнообразных расчетов и завершаются выпуском рабочей документации — чертежной, схем, текстовых документов.

П 3.1.20. Состав конкретных задач при конструкторском проектировании непосредственно зависит от вида проектируемого объекта, однако по своему характеру все эти задачи можно разделить на две группы:

1) группа задач параметрического проектирования;

2) группа задач структурного проектирования;

П 3.1.21. Задачи структурного проектирования служат для определения структуры элементов и свойств проектируемого объекта; для решения этих задач могут использоваться типовые структурные модели системы ИСТРА.

П 3.1.22. Задачи параметрического проектирования служат для вычисления и оптимизации количественных свойств и параметров проектируемого объекта.

П 3.1.30. В проектной системе задачи структурного и параметрического проектирования решаются совместно, так как выбор структурного решения оценивается количественными характеристиками и параметрами. Ниже приведены математические модели объектов конструкторского проектирования на примере авиационных конструкций.

П 3.2. Типовые структурные модели выбора компоновочной схемы пассажирского самолета

П 3.2.10. Проектирование самолета представляет собой процесс, при котором варьируются тяговые и весовые характеристики с учетом компоновочных особенностей и устанавливаются взлетная масса, тяга двигателей и основные проектные характеристики и, в соответствии с ними, все геометрические размеры самолета.

П 3.2.11. При разработке математических моделей необходимо учитывать факторы, влияющие на величину массы конструкции. К ним относятся:

аэродинамические требования;

принципиальная схема самолета, характеризуемая взаиморасположением крыла, фюзеляжа, оперения, двигателей и т. п.;

основные проектные параметры и летные данные самолета (m_0 — взлетная масса, $m_{кн}$ масса коммерческой нагрузки, V — скорость, L — дальность, H — высота и т. д.);

требования прочности;

требования эксплуатации;

технологические требования;

организация производства.

П 3.2.12. Взлетная масса самолета и его основные размеры в значительной степени зависят от удельной нагрузки на крыло p, энерговооруженности $\overline{R}_0$ и относительного запаса топлива $m_т$.

П 3.2.13. Существуют различные пути определения этих трех величин, но все они основываются на учете особенностей принципиальной (компоновочной) схемы самолета и основных проектных параметров. Таким образом, математическая модель должна обеспечивать синтез вариантов компоновочных схем (типовые структурные модели) и расчеты основных параметров (типовые количественные модели).

П 3.2.20. На рис. П 3.1. представлена сетевая модель выбора вариантов компоновочных схем самолета: $S(A)$, которая включает матрицу состава контуров $[A \times F(A)]$ и граф взаимосвязи элементов модели $G=(A, C)$.

П 3.2.21. Матрица состава (рис. П 3.1, *а*) контуров дизъюнктивная, где $A=\{a_1, a_2, ..., a_{23}\}$ — строки матрицы, элементы компоновочной схемы (фюзеляж, крыло, оперение, шасси, силовая установка), а $F(A)=\{F_1, F_2, ... F_{33}\}$ — столбцы матрицы-признаки, описывающие особенности конструктивных схем (форма фюзеляжа, диаметр, расположение крыла или горизонтального оперения относительно фюзеляжа, расположение шасси и способ уборки, число и положение двигателей (двигатели под крылом (ДПК) или двигателей на фюзеляже (ДНФ)) и др.

П 3.2.22. Граф взаимосвязи (рис. П 3.1, *б*) элементов модели $G=(A, C)$, где $c_{i(j)}=1$ если i-й элемент взаимосвязан с j-м элементом, т. е. в графе существует дуга от a_i к a_j и $c_{i(j)}=0$, в остальных случаях.

П 3.2.30. Проектирование вариантов компоновочных схем по сетевой модели осуществляется следующим образом:

1. Пусть исходные данные заданы вектором-строкой $F(A)$.

2. Вычисляется очередной путь μ_i в графе $G=(A, C)$.

3. Из матрицы состава контуров $[A \times F(A)]$ формируется новая матрица $[A_i \times F(A_i)]$, состав и порядок строк в которой соответствует составу и порядку вершин в пути μ_i.

4. Выполняется компонентное логическое сложение векторов-строк матрицы $[A_i \times F(A_i)]$:

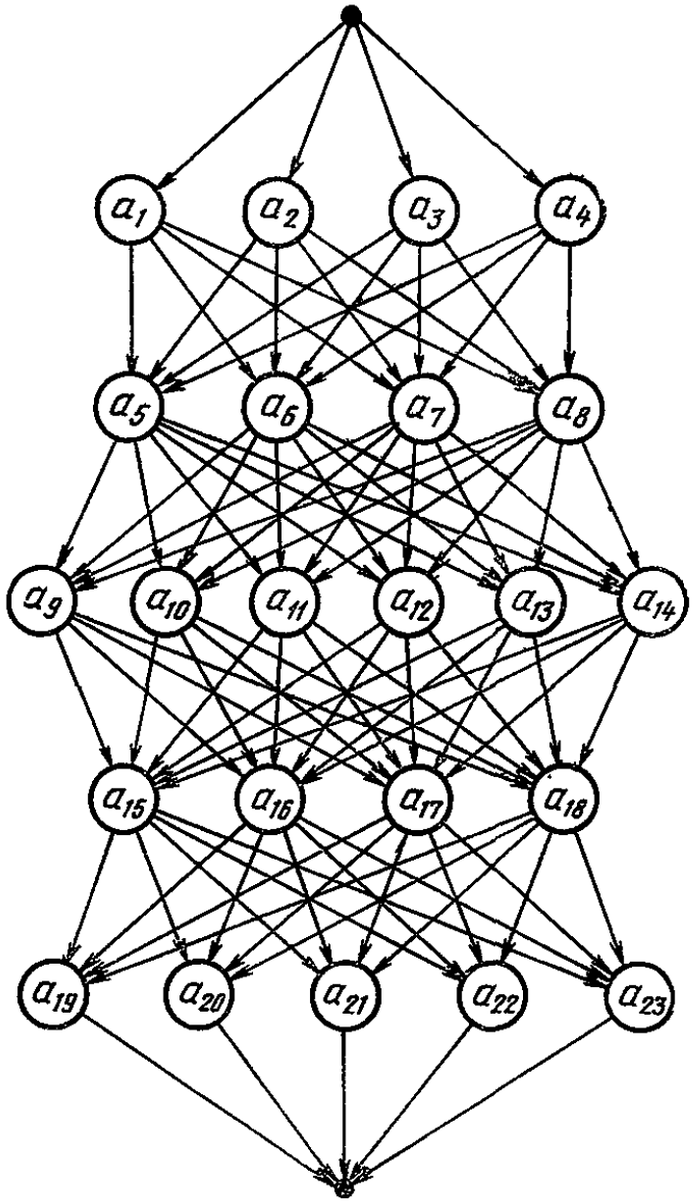
$$F(a_{i_1}) \vee F(a_{i_2}) \vee \ldots \vee F(a_{i_\mu}) = F(A_\mu).$$

5. Проверяется выполнение условия $F(A) \supseteq F(A)$. Если условие выполняется, то вариант передается в количественную модель для расчета параметров, в противном случае — отбрасывается и осуществляется переход к пп. 1.

П 3.2.40. Количественная модель расчета основных параметров самолета приведена на рис. П 3.2 и включает: $[N \times F(A)]$ — матрицу взаимосвязи контуров $F(A)=\{F_1, F_2, ..., F_{33}\}$, причем набор контуров соответствует набору контуров в матрице $[A \times F(A)]$, с номерами расчетных формул $N=\{n_1, n_2, n_3, n_4, ...\}$; матрицы показателей степени $[N \times F(N)]$, где N — множество номеров формул, а $F(N)=\{\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_m\}$ показатели степени (рис. П3.2, *б*—*д*) в расчетных формулах. Основаниями в формулах являются задаваемые технические требования.

			Условия					Фюзеляж				Крыло								Оперение					Шасси						Силовая установка				
			Дальность полета	Скорость	Грузоподъемность	Класс аэродрома	Разбег	Сечение окружность	Сечение „бульба"	Диаметр до 4 м	Диаметр св 5 м	Низкорасположенное	Высокорасположенное	Прямое	Стреловидное	Одношелевые закр	Ощз и предкрылки	Дщз и предкрылки	Тщз и предкрылки	Однокилевое	Двухкилевое	Низкорасположенное ГО	Т-образное ГО	ГО в середине ВО	Шасси на фюзеляже	Уборка в крыло	Уборка в фюзеляж	Шасси на крыле	Уборка в крыло	Уборка в фюзеляж	Число двигателей 2	Число двигателей 3	Число двигателей 4	Двигатели на крыле	Двигатели на фюзеляже
			F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_3	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{24}	F_{26}	F_{27}	F_{28}	F_{29}	F_{30}	F_{31}	F_{32}	F_{33}
Фюзеляж	I	a_1	●	●				●		●																								
	II	a_2	●	●				●			●																								
	III	a_3	●	●					●	●																								
	IV	a_4	●	●					●		●																								
Крыло	I	a_5				●	●					●		●		●	●	●	●																
	II	a_6				●	●						●	●		●	●	●	●																
	III	a_7				●	●					●			●	●	●	●	●																
	IV	a_8				●	●						●		●	●	●	●	●																
Оперение	I	a_9																		●		●													
	II	a_{10}																		●			●												
	III	a_{11}																		●				●											
	IV	a_{12}																			●	●													
	V	a_{13}																			●		●												
	VI	a_{14}																			●			●											
Шасси	I	a_{15}																							●	●									
	II	a_{16}																							●		●								
	III	a_{17}																										●	●						
	IV	a_{18}																										●		●					
Двигатели	2	a_{19}				●	●																								●			●	
	4	a_{20}				●	●																										●	●	
	2	a_{21}				●	●																								●				●
	3	a_{22}				●	●																									●			●
	4	a_{23}				●	●																										●		●

а



б

Рис. П 3.1. Типовая структурная модель выбора компоновочных схем:

а—матрица состава контуров; *б*—граф взаимосвязи элементов модели

П 3.2.41. При разработке количественной модели с целью унификации программных модулей все расчетные формулы могут быть сведены к одной из следующих форм:

$$F(N_1)=F_1(N)+F_2(N)+F_3(N)+F_4(N),$$
$$F(N_2)=F_1(N)/F_2(N)+F_3(N)+F_4(N),$$
$$F(N_3)=F_1(N)+F_2(N)/F_3(N)+F_4(N)$$

либо

$$F(N_k)=F_1(N)\times[F_2(N)+F_3(N)+F_4(N)],$$
$$F(N_{k+1})=[F_1(N)+F_2(N)]\times[F_3(N)+F_4(N)]$$

и т. д.,

где $$F_i(N)={}^ik\cdot{}^ik_{\text{сх}}\cdot\prod_{i=1}^{n}a_i^{\alpha}i.$$

П 3.2.42. Матрицы показателей $F_1(N)$, $F_2(N)$, $F_3(N)$, $F_4(N)$, коэффициенты пропорциональности ${}^ik$ и схемные коэффициенты ${}^ik_{\text{сх}}$ представлены на рис. П 3.2 *б, в, г, д*.

П 3.2.43. В процессе расчета основных проектных параметров результаты вычислений на предыдущих этапах используются в качестве входных данных на последующих этапах, поэтому вектор-строка параметров дополняется рассчитанными параметрами, как показано на рис. П 3.3.

П 3.2.50. Рассмотрим пример выбора компоновочной схемы и расчета основных параметров гипотетического варианта пассажирского самолета [10].

Исходные данные вариантов представлены на рис. П 3.4. В матрице вариантов (рис. П 3.4, *а*) точки соответствуют выдаваемым характеристическим признакам-контурам. Общими для всех вариантов являются:

определяющие условия: дальность (F_1), класс аэродрома (F_4);

фюзеляж: окружность (F_6), диаметр до 4 м (F_8);

крыло: низкорасположенное (F_{10}) в a_1, a_3, a_4 вариантах и высокорасположенное (F_{11}) в варианте a_2, стреловидное (F_{13});

механизация — двухщелевые закрылки и предкрылки (E_{16}) и т. д.

П 3.2.51. Вектор основных параметров представлен на рис. П 3.4, *б* и включает L — дальность с максимальной коммерческой нагрузкой; C_R — удельный расход двигателей; M — крейсерская скорость; K — качество на крейсерском режиме; $V_{\text{зп}}$ — скорость захода на посадку; $C_{y_{\text{кр}}}$ — крейсерское значение коэффициента подъемной силы; $L_{\text{впп}}$ — потребная длина взлетно-посадочной полосы, V_4/V_2 — угол наклона на траектории при взлете с одним отказавшим двигателем; K_{V_2} — качество с механизацией крыла во взлетном положении.

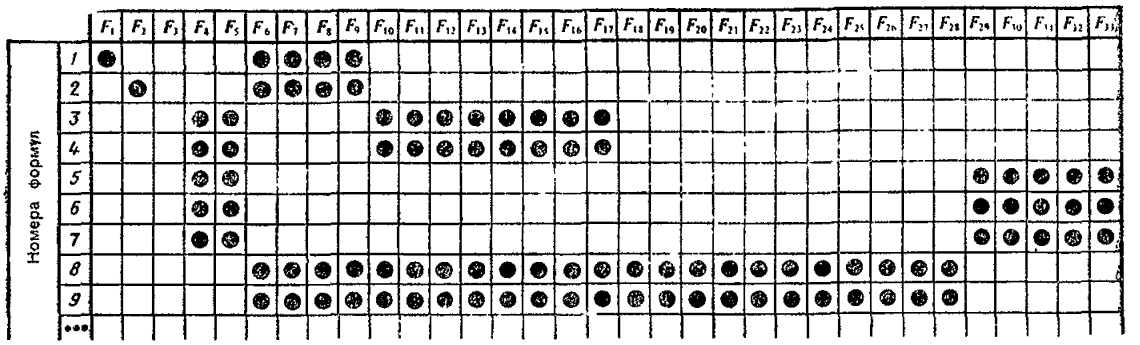
П 3.2.60. Пусть в графе $G=(A, C)$ (рис. П 3.1, *б*) построен путь $\mu_1=(a_1, a_7, a_9, a_{18}, a_{19})$. Вычисление вектора-строки состава контуров производится по формуле

$$F(A_\mu)=F(a_1)\vee F(a_7)\vee F(a_9)\vee F(a_{1_\ell})\vee F(a_{19})$$

и проверка по условию $F(A_\mu)\supseteq F(A)$. Как видно из рис. П 3.5, сформированный путь μ_1 может рассматриваться в качестве варианта компоновочной схемы.

П 3.2.61. Аналогично можно получить варианты компоновочных схем для других вариантов исходных данных. На рис. П 3.8 (*а—е*) представлены варианты компоновки самолета (см. рис. П 3.6 (*а—г*) и шасси (см. рис. П 3.6 (*д, е*)) для исходных данных, приведенных на рис. П 3.4.

П 3.2.70. Расчет параметров и выбор оптимальной схемы реализации осуществляется в количественной модели. Для вектора $F(a_7)$ (см. рис. П 3.5) в матрице взаимосвязи контуров и формул (рис. П 3.2, *а*) как по табличной модели с дизъюнктивной матрицей выбираются формулы n_3 и n_4.



а

k_α	k_α^1	Номер формулы	$F_1(N)$	L	C_R	M	K	$V_{ЗП}$	$C_{Y_{кр}}$	$L_{ВПП}$	V_Y/V_2	K_{V_2}	$n_{сд}$	$\overline{m}_т$	p
$2{,}03.10^{-3}$	1		1	1	1	—1	—1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	$f(e)$		2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	$C_{Y_{пос MAX}}$		3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
$0{,}95^{-1}$	$q^{(H)}_{M=1}$		4	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0,05	$C_{Y_{отр}}$		5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1		6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	$k_{мех}$		7	0	0	0	0	0	0	—1	0	0	0	0	1,5
0,324	$k_{сх}$		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			...												

б

k_β	k_a^2	Номер формулы	$F_2(N)$	L	C_R	M	K	$V_{ЗП}$	$C_{Y_{кр}}$	$L_{ВПП}$	V_Y/V_2	K_{V_2}	$n_{сд}$	$\overline{m}_т$	p
$-0{,}96.10^{-6}$	1		1	2	2	—2	—2	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,75	1		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1		6	0	0	0	0	0	0	0	0	—1	0	0	0
0	1		7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$-0{,}218/10^3$	1		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

в

k_γ	k_a^3	Номер формулы	$F_3(N)$	L	C_R	M	K	$V_{ЗП}$	$C_{Y_{кр}}$	$L_{ВПП}$	V_Y/V_2	K_{V_2}	$n_{сд}$	$\overline{m}_т$	p
1	1		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
—27	1		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,9	$C_{Y_{отр}}$		5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0,1	1		6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1		7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

г

k_δ	k_a^4
0	1
0	1
0	1
0	1
—1,8	1
—0,02	1
0	1
0	1

Номер формулы $F_i(N)$	L	C_R	M	K	$V_{зп}$	$C_{Y_{кр}}$	$L_{ВПП}$	V_Y/V_2	K_{V_2}	$n_{сд}$	$\overline{m_т}$	p
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	С	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

д

Рис. П 3.2. Количественная модель расчета основных параметров:

а—матрица взаимосвязи контуров (качественные признаки) с формулами (количественные параметры); *б, в, г, д*—матрица состава показателей степени и коэффициентов пропорциональности в формулах

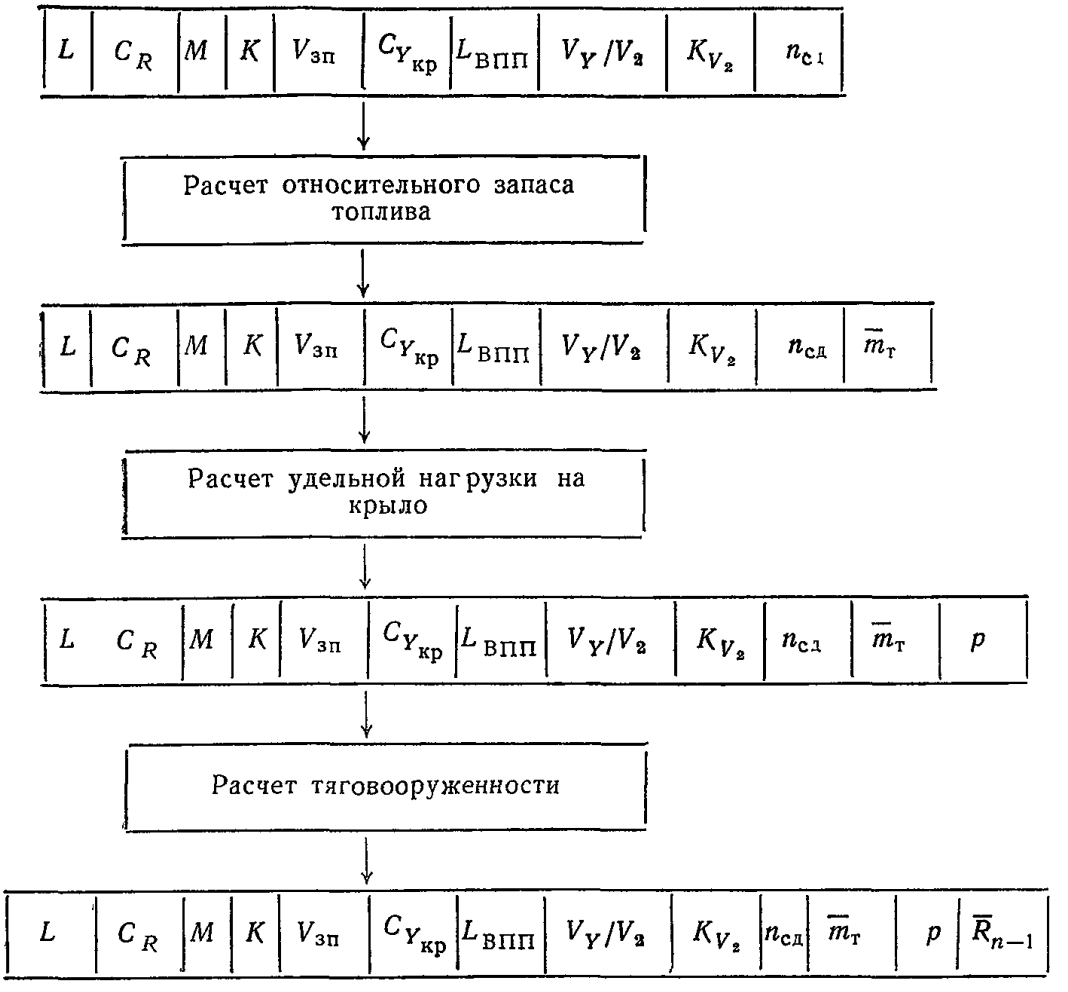
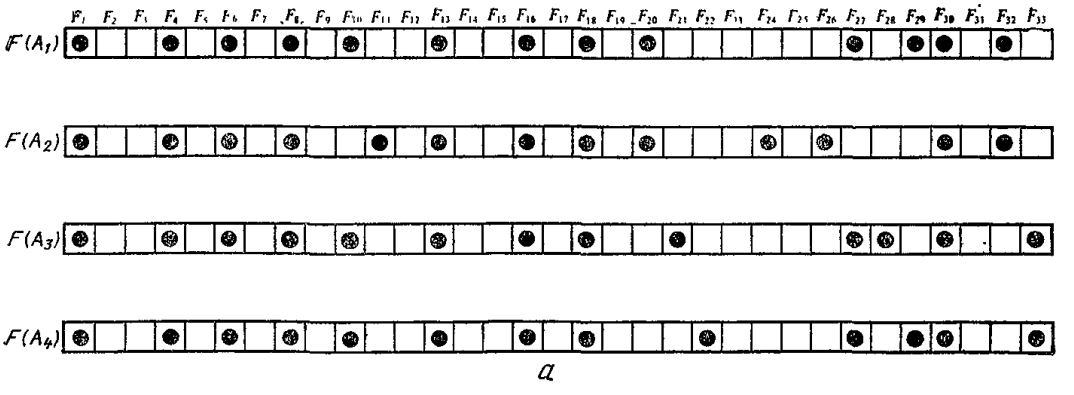


Рис. П 3.3. Схема последовательного вычисления проектных параметров



а

L	C_R	M	K	$V_{зп}$	$C_{у_{кр}}$	$L_{впп}$	V_1/V_2	K_{V_2}	$n_{сд}$
3000	0,65	0,8	17	220	0,3	1800	0,05	8	3

б

Рис. П 3.4. Пример описания исходных данных:

а—векторы-строки состава контуров; *б*—вектор-строка количественных параметров

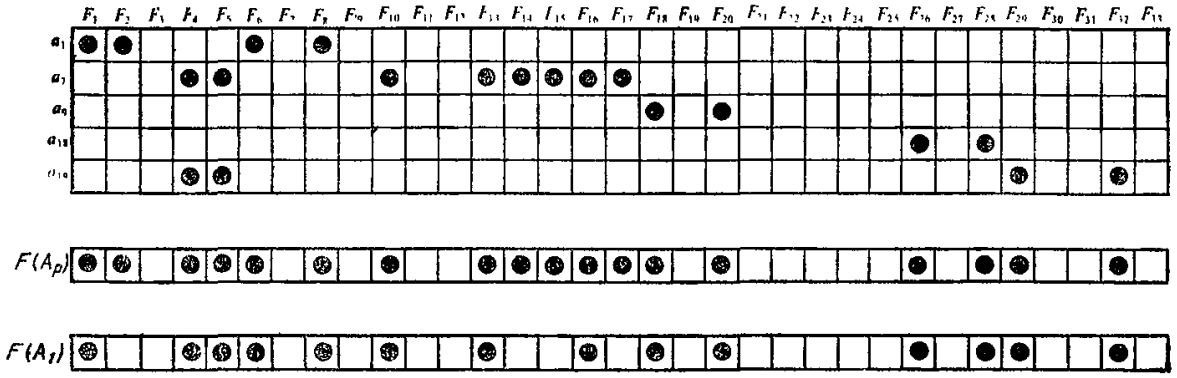
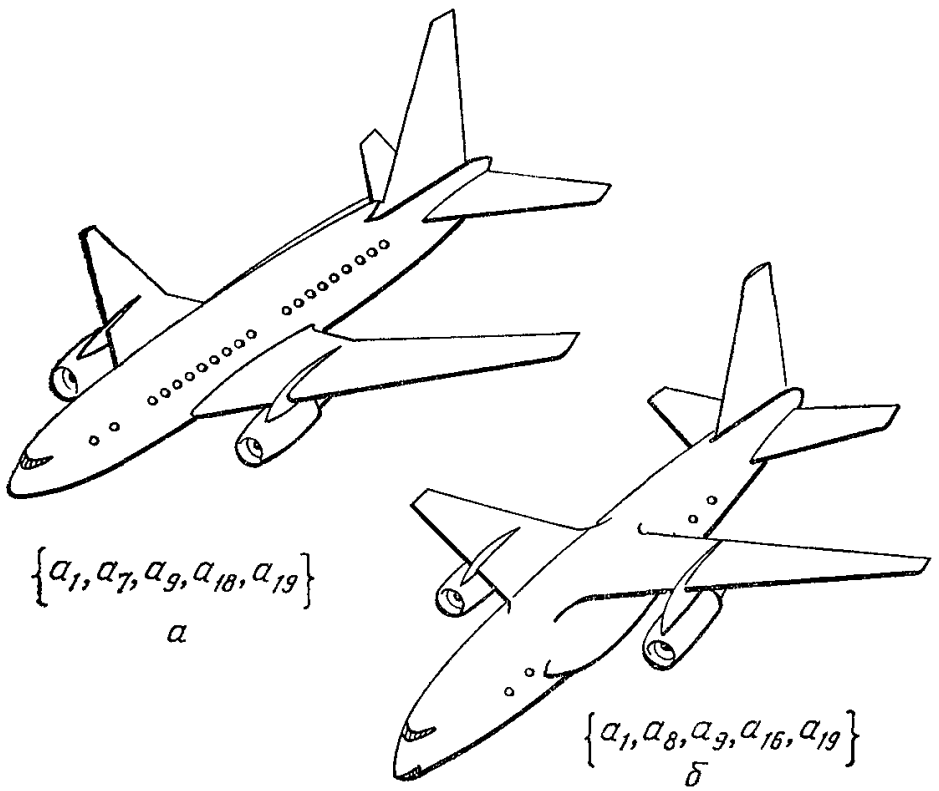
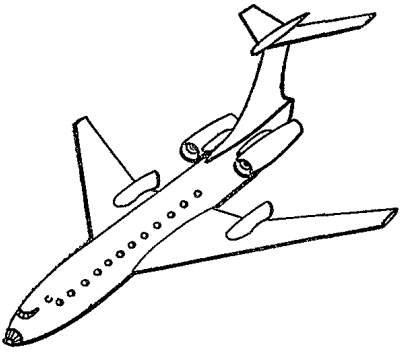


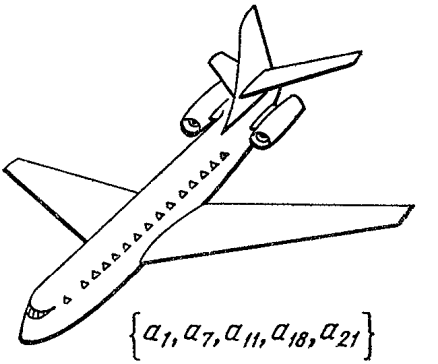
Рис. П 3.5. Пример вычисления вектора-строки состава контуров для пути $\mu_{A_p} = (a_1, a_7, a_9, a_{18}, a_{19})$





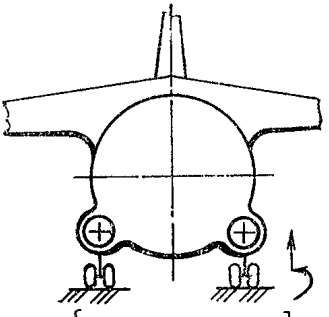
$\{a_1, a_7, a_{10}, a_{18}, a_{21}\}$

в



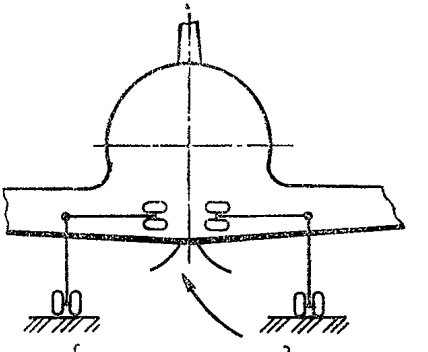
$\{a_1, a_7, a_{11}, a_{18}, a_{21}\}$

г



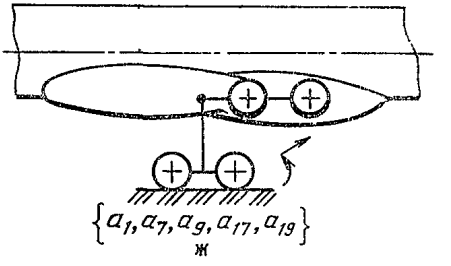
$\{a_1, a_8, a_9, a_{16}, a_{19}\}$

д



$\{a_1, a_7, a_9, a_{18}, a_{19}\}$

е



$\{a_1, a_7, a_9, a_{17}, a_{19}\}$

ж

Рис. П 3.6

П 3.2.71. Рассмотрим порядок вычисления по формуле n_3:

$$p = V_{\text{зп}}^2 \, c_{Y_{\text{пос.max}}} / 27 (1 - \overline{m}_{\text{т}}).$$

В модели формула приводится к виду

$$F(N_2) = F_1(N) / F_2(N) + F_3(N) + F_4(N), \text{ т. е.}$$

$$p = 1 \cdot C_{Y_{\text{пос.max}}} \cdot V_{\text{зп}}^2 / 27 \cdot 1^0 + (-27) \cdot 1^0 \cdot \overline{m}_{\text{т}},$$

где в члене $F_1(N)$: $k=1$ — коэффициент пропорциональности; $k_{сх}=c_{Y_{пос\,max}}=2{,}4$ — схемный коэффициент; $V_{зп}$ — основание задано в исходных данных (рис. 3.4, б), $\alpha_i=2$ — показатель степени. Аналогично и другие члены формулы. Тогда вычисление ведется по единой формуле

$$p=kC_{Y_{пос.max}} L^0\cdot C_R^0\cdot M^0\cdot K^0\cdot V_{зп}^2\cdot C_{Y_{кр}}^0\cdot L_{ВПП}^0\cdot(V_Y/V_2)^2\cdot k_{V_2}^0\times$$
$$\times n_{сд}^0\cdot\bar{m}^0/k\cdot k_{C_x}\cdot L^0\cdot c_R^0\cdot M^0K^0\cdot V_{зп}^0\cdot c_{Y_{кр}}^0\cdot L_{ВПП}^0(V_Y/V_2)^0\cdot k_{V_2}^0\cdot n_{сд}^0\times$$
$$\times\bar{m}_т^0+k\cdot k_{C_x}\cdot L^0\cdot C_R^0\cdot M^0\cdot K^0\cdot V_{эп}^0\cdot c_{Y_{кр}}^0\cdot L_{ВПП}\cdot(V_Y/V_2)^0\cdot k_{V_2}^0\cdot n_{сд}^0\cdot\bar{m}_т^1$$

или, подставляя численные значения, получим

$$p=\underline{1\cdot2{,}4}\cdot3000^0\cdot0{,}65^0\cdot0{,}8^0\cdot17^0\cdot(220/3{,}6)^2\cdot0{,}3^0\cdot1800^0\cdot0{,}05^0\cdot8^0\cdot3^0\cdot0{,}2^0/\underline{27\cdot1}\times$$
$$\times3000^0\cdot0{,}65^0\cdot0{,}8^0\cdot17^0\cdot(220/3{,}6)^0\cdot0{,}3^0\cdot1800^0\cdot0{,}05^0\cdot8^0\cdot3^0\cdot0{,}2^0+\underline{(-27)}\cdot1\times$$
$$\times3000^0\cdot0{,}65^0\cdot0{,}8\cdot17^0(220/3{,}6)^0\cdot0{,}3^0\cdot1800^0\cdot0{,}05^0\cdot8^0\cdot3^0\cdot0{,}2^+=400\ кг/м^2.*$$

Таким образом, из условия захода на посадку, удельная нагрузка на крыло должна быть 400 кг/м². Второе значение удельной нагрузки на крыло из условия крейсерского полета вычисляется по формуле n_4. Из двух значений выбирается наименьшее. Далее переходят к следующему за a_7 элементу пути a_9, находят следующую формулу и т. д.

П.3.3. Типовые структурные модели выбора основных параметров и расчета массы крыла

П 3.3.10. При определении массы крыла существенное значение имеет правильный выбор значений расчетной массы самолета (m_0), запаса топлива ($m_т$), распределение его по размаху и, следовательно, коэффициент разгрузки. Эти вопросы были решены в структурной модели 1-го уровня (см. пп. П 3.1). Таким образом, на данном этапе рассматриваются модели для расчета параметров отдельных частей самолета. Синтез такой модели нами показан на примере расчета массы крыла самолета.

П 3.3.11. Существует несколько формул для расчета массы крыла. Особенности заключаются в том, что не во всех формулах учитываются:

1. Влияние разгрузки.
2. Особенности топливной системы (мягкие баки, герметичные баки-отсеки, способ герметизации и т. д.).
3. Конструктивно-технологические особенности (панели, соединения и т. д.).
4. Системы механизации крыла и некоторые другие факторы.

П 3.3.20. На рис. П 3.7 приведена количественная модель расчета массы крыла, которая включает:

$[N\times F(A)]$ — матрицу взаимосвязи контуров с номерами расчетных формул (рис. П 3.7, *а*);

$[N\times F(N)]$ — матрицу состава функций параметров, входящих в формулы (рис. П 3.7, *б*).

П 3.3.21. Матрица взаимосвязи контуров состоит из шести строк $\{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6\}$ по числу включенных формул и — из 29 столбцов $\{F_1, F_2, ..., F_{29}\}$ по числу контуров и используемых параметров.

П 3.3.22. Как уже отмечалось, в различных формулах учитываются различные факторы и для расчета используется различный состав параметров. Поэтому в матрицу (рис. П 3.7, *а*) включены контуры из модели (пп. 3.1.) и параметры $\{F_{21}, ..., F_{29}\}$. Черная точка на пересечении i-й строки и j-го столбца указывает на то, что в j-й формуле учитывается фактор или параметр.

---

* Здесь $m_т$ получено на предыдущем этапе расчетов; подчеркнуты значащие члены формулы, все остальные равны единице.

Номер формулы	Диаметр фюзеляжа до 4 м (F_1)	Диаметр фюзеляжа св. 5 м (F_2)	Шасси на фюзеляже (F_3)	Шасси на крыле (F_4)	ПД (F_5)	ТВД (F_6)	ДТРД (F_7)	Двигатели на крыле (F_8)	Двигатели на фюзеляже (F_9)	Одношелевые закрылки (F_{10})	Двухщелевые закрылки (F_{11})	Трехщелевые закрылки (F_{12})	Предкрылки (F_{13})	Спойлеры (F_{14})	Монолитные панели (F_{15})	Сборные панели (F_{16})	Сборно-монолитные панели (F_{17})	Магние баки (F_{18})	Внутришовная герметизация (F_{19})	Поверхностная герметизация (F_{20})	m_0 (F_{21})	S, ρ (F_{22})	n_A^P (F_{23})	λ, l (F_{24})	h° (F_{25})	η (F_{26})	$\bar{c}_0$ (F_{27})	$\bar{c}_k$ (F_{28})	$\bar{m}_T$ (F_{29})
1					●	●																●		●	●	●				
2					●	●																●		●	●	●				●
3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								●		●	●	●	●	●	●	
4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●		●
5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●		●
6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●		●

а

Номера формул	m_0	S	$\bar{m}_T$	n_A^P	λ	l	χ°	η	$\bar{c}_0$	$\bar{c}_k$
1	$m_0^{0,83}$	—	—	$n^{0,83}$	—	$l^{0,83}$	$\cos^{-0,83}\chi^\circ$	—	—	—
2	$m_0^{0,5}$	—	$\varphi(\bar{m}_T)$	$n^{0,5}$	$\lambda^{-0,5}$	$l^{1,5}$	$\cos^{-0,5}\chi^\circ$	—	—	—
3	m_0^1	—	—	n^1	λ^1	l^1	$\cos^{-3}\chi^\circ$	$f(\eta)$	$f(\bar{c}_0)$	$f(\bar{c}_k)$
4	$m_0^{0,5}$	S^1	$\varphi(\bar{m}_T)$	n^1	λ^1	—	$\cos^{-1,5}\chi^\circ$	$-\frac{\eta+4}{\eta+1}$	$\bar{c}_0^{-0,75}$	—
5	m_0^1	$f(S)$	$\varphi(\bar{m}_T)$	n^1	$\lambda^{0,75}$	—	$f(\chi^\circ)$	$f(\eta)$	$\bar{c}_0^{-0,5}$	—
6	m_0^{-1}	$S^{0,5}$	$\varphi(\bar{m}_T)$	n^1	$\lambda^{1,5}$	—	$\cos^{-3}\chi^\circ$	$-\frac{\eta+1}{\eta}$	$\bar{c}_0^{-1}$	—

б

Рис. П 3.7. Количественная модель расчета массы крыла;

а—матрица взаимосвязи контуров с формулами; *б*—матрица состава функций, входящих в формулы

П 3.3.23. Поиск формулы по матрице осуществляется в соответствии с алгоритмом обработки сочетательных моделей с конъюнктивной матрицей.

П 3.3.30. Матрица состава функций параметров сформирована таким образом, что вычисления ведутся с использованием одного из модулей пп. П 3.2.41. (На рис. П 3.7, *б* с целью сокращения показана только одна матрица, но, например в формуле (3), число слагаемых равно шести).

П 3.3.31. Рассмотрим пример расчета массы крыла при следующих исходных данных [10]:

$$F(A)=\{F_1,F_2,\ldots,F_{27},F_{29}\} \text{ и}$$

$m_0=150000$ кг; $\eta=3$;
$n_A^P=3{,}5$; $\overline{c}_0=0{,}13$;
$\overline{m}_т=0{,}25$; $\chi=30°$;
$\lambda=7$; $S_H=30$ м^2;
$S=300$ м^2; $V_{тс}=100000$ л.

Тогда для расчета выбираются формулы № 4, 5, 6; так как

$$F(A)\supseteq (F(n_4)\equiv F(n_5)\equiv F(n_6)).$$

П 3.3.32. Обобщенный модуль расчета имеет вид

$$m_{кр}=(k_m\cdot n_A^P\cdot m_0^{\alpha}\cdot\varphi\cdot\lambda^{\beta}\cdot f_1(S)\cdot f(\eta)/c_0^{\gamma}\cdot f(\chi°))+f_2(S)+f(V_{тс}).$$

В результате расчета получаем

По формуле (4) Бадягина А. А.	По формуле (5) Шейнина В. М.	По формуле (6) Зинина Л. С.
$k_m=2{,}7\cdot 10^{-4}$	$k_m=10^{-3}$	$k_m=7{,}37\cdot 10^{-6}$
$n_A^P=3{,}5$	$n_A^P=3{,}5$	$n_A^P=3{,}5$
$m_0^{0{,}5}=383$	$m_0^1=150000$	$m_0^1=150000$
$\varphi=0{,}87-0{,}83\cdot 0{,}24=0{,}67$	$\varphi=0{,}9-0{,}24=0{,}66$	$\varphi=0{,}9-0{,}24=0{,}66$
$\lambda^1=7$	$\lambda^{0{,}75}=4{,}3$	$\lambda^{1{,}5}=18{,}6$
$f_1(S)=S^1=300$	$f(S)=2{,}8$	$f(S)=S^{0{,}5}=17{,}3$
$f(\eta)=\frac{\eta+4}{\eta+1}=1{,}75$	$f(\eta)=0{,}82+0{,}45/\sqrt{\eta}=1{,}08$	$f(\eta)=\frac{\eta+1}{\eta}=1{,}33$
$\overline{c}_0^{0{,}75}=0{,}218$	$\overline{c}_0^{+0{,}5}=0{,}36$	$\overline{c}_0^1=0{,}13$
$f(\chi)=\cos^{1{,}5}30°=0{,}8$	$f(\chi)=0{,}845$	$f(\chi)=\cos^3\chi=0{,}65$
$f_2(S)=4{,}5\cdot S=1350$ кг	$f_2(S)=q_H\cdot S_H=420$ кг	$f_2(S)=q_{кН}\cdot S_{КЭ}=6000$ кг
$f(V_{тс})=0{,}015\cdot m_0=2250$ кг	$f(V_{тс})=400$ кг	$f(V_{тс})=400$ кг
$m_{кр}=17400$ кг	$m_{кр}=15620$ кг	$m_{кр}=18600$ кг

Таким образом, представление различных методов расчета массы крыла в виде единой модели позволяет вести расчеты с учетом заданного или известного числа параметров и факторов и по одной программе.

П 3.4. Типовые структурные модели узлов конструкций

П 3.4.10. При проектировании узлов конструкций задачи проектирования изделия решаются с учетом требований производства — из всех возможных вариантов конструктивных контуров узла выбираются наиболее технологичные варианты. Технологичность конструкции в наибольшей мере определяется структурой элементов и контуров узла изделия.

П 3.4.20. Структурные математические модели узлов изделия предназначены для выбора структурных вариантов конструкции как при неизменном составе функциональных свойств, так и при варьировании функциональных свойств в процессе проектирования.

П 3.4.21. Для сложных узлов комплекс структурных моделей конструкции представляется в виде иерархической системы с повышением степени детализации данных конструкции при переходе от высших к низким уровням иерархии. При этом на верхних уровнях моделируется структура конструкции узла в целом, а на нижних уровнях — структура отдельных контуров.

П 3.4.30. Примером структурной модели конструкции является модель тонкостенных конструкций — панелей, представленная на рис. П 3.8. Эта модель содержит максимально дифференцированный состав элементов конструкции панелей и полную структуру связей между ними.

П 3.4.31. Математическая модель, представленная на рис. П 3.8. относится к классу перестановочных моделей, поскольку ориентация дуг в графе $G=(A, C)$ — см. рис. П 3.8 *д*, может быть любой.

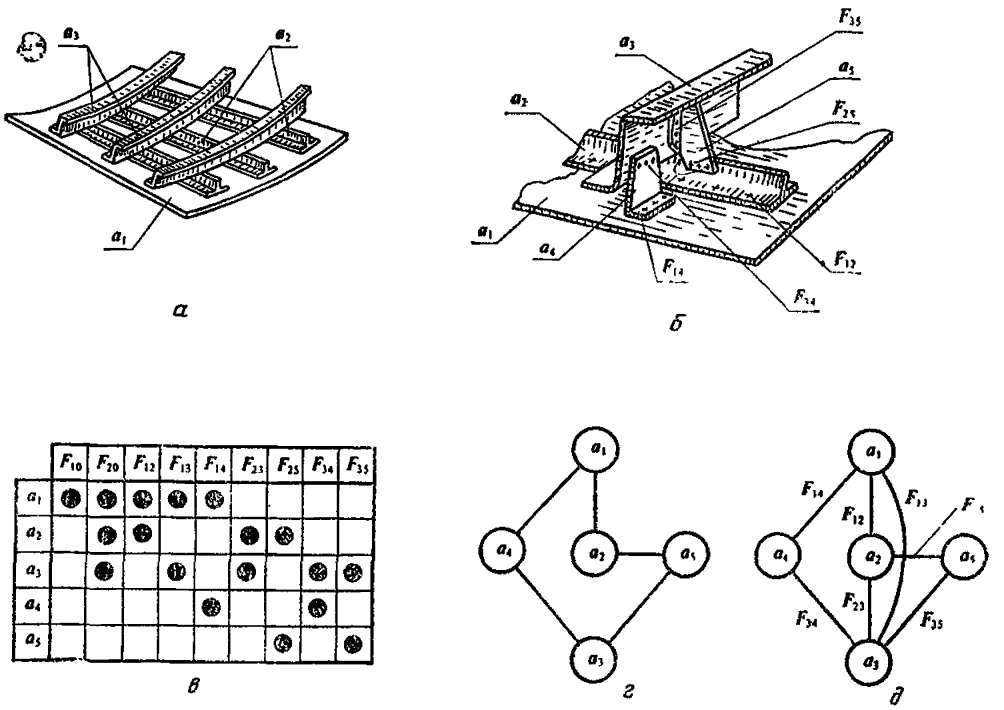


Рис. П 3.8. Функциональные связи деталей панели:

а—общий вид панели; *б*—детали панели: a_1—обшивка; a_2—стрингер; a_3—шпангоут; a_4—компенсатор; a_5—косынка; *в*—матрица контура деталей панели; *г*—граф соединения деталей панели (*а*); *д*—граф всех возможных соединений деталей панели.

Контуры панели; F_{10}—контур аэродинамических обводов; F_{20}—контуры стыков панели с другими панелями изделия; F_{12}—контур соединения a_1 с a_2; F_{13}—контур соединения a_1 с a_3; F_{14}—контур соединения a_1 с a_4; F_{23}—контур соединения a_2 с a_3; F_{25}—контур соединения a_2 с a_5; F_{34}—контур соединения a_3 с a_4; F_{35}—контур соединения a_3 с a_5

П 3.4.32. Структурная модель панелей включает в себя матрицу состава контуров $[A\times F(A)]$ — см. рис. П 3.8, *в*, где $A=\{a_1, a_2, \ldots a_5\}$ — множество деталей панелей, а в состав $F(A)$ контуров входят контуры $\{F_{10}, F_{20}\}$ панели в целом и контуры $\{F_{12}, F_{13}, F_{14}, F_{23}, F_{25}, F_{34}, F_{35}\}$ соединений деталей панели.

П 3.4.33. Матрица состав контуров деталей панелей — конъюнктивная.

Логические отношения между строками матрицы описываются уравнением

$$R^L(A)=A=(a_1\wedge a_2\wedge a_3)\vee a_4\vee a_5=1,$$

логические отношения между столбцами матрицы описываются уравнением

$$R^L(F(A))=F(A)=F_{10}\wedge F_{20}\wedge F_{12}\wedge(F_{23}\triangledown F_{25}\wedge F_{35})\vee(F_{13}\triangledown F_{14}\wedge F_{34})=1.$$

П 3.4.34. Отношения смежности и порядка между деталями панелей заданы в виде графа $G=(A, C)$ — рис. П 3.8. д. Поэтому условия вида $B(a_k)$ и $W(a_k)$ здесь не задаются.

П 3.4.36. Исходными данными для поиска возможных структур панели являются варианты структуры панели с составом деталей A_k удовлетворяющим уравнению $R^L(A)$, и составом контуров $F(A_k)$, удовлетворяющим уравнению $R^L(F(A))$ из п. П 3.4.33.

П 3.4.37. Алгоритм поиска проектного решения включает в себя следующие основные операции:

1) Определение возможного состава контуров $F(A_k)$, удовлетворяющего уравнению $R^L(F(A))$. Из пп. 3.3.33 при заданном составе элементов A_k.

2) Формирование матрицы контуров $[A_k \times F(A_k)]$, соответствующей полученному варианту структуры панели.

3) Формирование графа $G_k(A_k \times C_k)$ — состав дуг этого графа соответствует составу контуров соединения деталей панели.

П 3.4.40. При необходимости более дифференцированного моделирования состава и взаимосвязи элементов конструкции изделия применяются структурные модели, основанные на использовании операций над графами [6]. Примером такой модели является модель структуры элементов конструкции панелей, основанная на операции

$$G = G_i \underset{A}{\cap} \underset{C}{\cup} G_j$$

получения графа $G = (A, C)$ структуры конструкции панели из графов $G_i = (A_i, C_i)$ и $G_j = (A_j, C_j)$, где множества вершин и ребер графа определяются операциями

$$A = A_i \underset{A}{\cap} A_j, \quad C = C_i \underset{C}{\cup} C_j.$$

П 3.4.41. Графы $G_i = (A_i, C_i)$ являются безреберными графами и моделируют возможные составы элементов конструкции панелей.

П 3.4.42. Графы $G_j = (A_j, C_j)$ моделируют варианты связей между элементами конструкции.

Возможные варианты структуры панелей показаны в табл. П 3.1.

П 3.4.50. Дальнейшая детализация при моделировании изделия осуществляется путем использования структурных моделей конструктивных контуров этого изделия. Так, для рассматриваемых выше панелей дальнейшая детализация структурного моделирования связана с использованием структурных моделей конструктивных контуров сопряжения панели с другими узлами изделия и контуров соединений.

П 3.4.51. В начале моделируются варианты видов соединений, возможных в сопряжениях элементов конструкции узла. Моделирование осуществляется с помощью булевой матрицы вида

$$\| c_{i(j)} \|_{F_{i(j)}, F'} = [F_{i(j)} \times F'],$$

где F' — множество видов соединений. Пример такой матрицы для контуров соединений деталей панели (рис. П. 3.8) приведен на рис. П. 3.9.

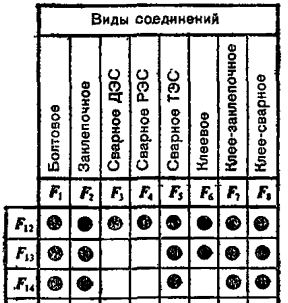


Рис. П 3.9. Матрица вариантов контуров соединений

П. 3.4.52. Далее для каждого контура соединения моделируется возможность конструктивного оформления. Рассмотрим в качестве примера моделирование контура сварного соединения, когда сварной шов образуется плавлением. Элементами конструктивного контура шва будут соединяемые детали $A = \{a_1, a_2\}$, а контурами — марки свариваемых материалов, геометрическая форма и параметры деталей в зоне шва, форма и параметры самого шва. Примеры состава таких контуров и параметров, по материалам [8], приведены в табл. П 3.2. Как видно из табл. П 3.2, структурная модель контуров может быть непосредственно связана с количественной моделью, характеризующей числовые значения контуров и параметров.

П 3.4.60. После выбора варианта структуры элементов конструкции и контуров узла осуществляются необходимые прочностные и другие расчеты, связанные с обеспечением требуемых функциональных свойств узла.

Таблица П 3.1

Структурная классификация конструктивных контуров панелей

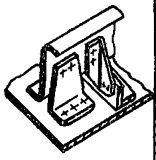
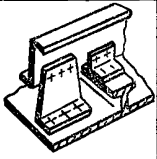
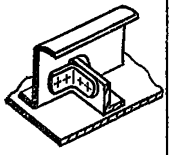
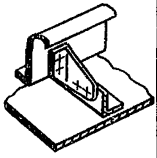
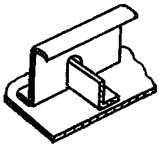
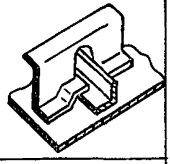
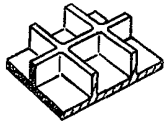
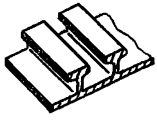
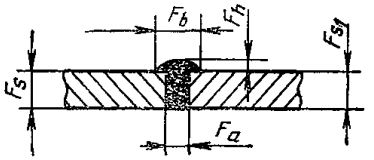
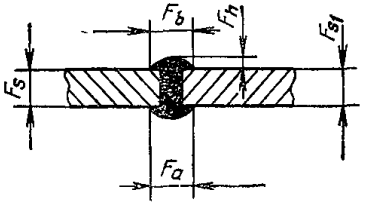
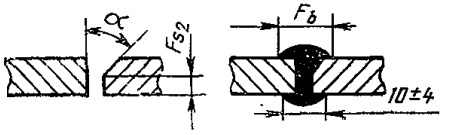
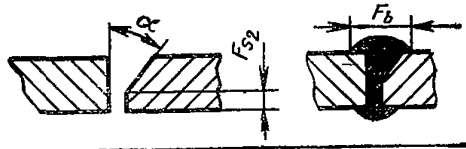
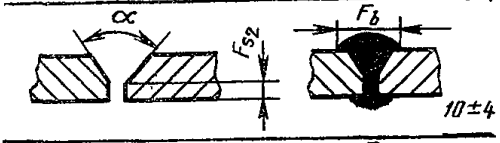
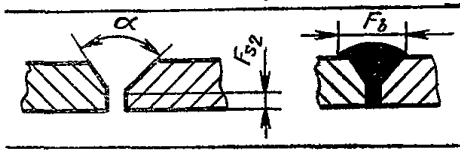
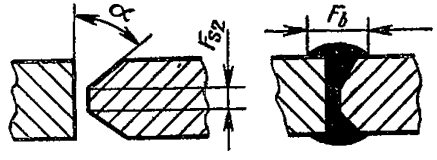
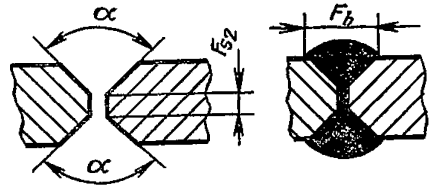
G_i \ G_j	G_1	G_2	G_3
G_1 ① ② ⑦ ③ ⑧			
G_2 ① ② ⑦ ③ ⑧			
G_3 ① ② ③ ⑧			
G_4 ① ② ③			
G_5 ① ② ③			
G_6 ① ②			

Таблица П 3.2

Конструктивные контуры сварного шва

Контур	Эскиз сварного шва	Количественные значения параметров				
		F_s, F_{s_1}	F_{s_2}	F_a	F_b	F_h
F_1		1	—	$0{,}5\pm0{,}5$	5 ± 2	$0^{+1,5}$
		1,5	—	$0{,}5\pm0{,}5$	5 ± 2	$0^{+1,5}$
		2	—	$1{,}0\pm1{,}0$	6 ± 2	$0^{+1,5}$
F_2		3÷3,5	—	$1^{+0,5}_{-1,0}$	8 ± 4	0^{+2}
		4÷4,5	—	$1{,}5^{+0,5}_{-1,0}$	8 ± 4	0^{+3}
		5÷5,5	—	$1{,}5^{+0,5}_{-1,0}$	8 ± 4	0^{+3}
		6	—	$2^{+1,5}_{-1,0}$	9 ± 4	0^{+3}
		7	—	$2^{+1,5}_{-1,0}$	9 ± 4	0^{+3}
F_3		3÷7	$1{,}0\pm1{,}0$	2 ± 2	$+12$	0^{+3}

Продолжение табл. П 3.2

Контур	Эскиз сварного шва	Количественные значения параметров				
		F_s, F_{s_1}	F_{s_2}	F_a	F_b	F_h
F_4		8÷11	2^{+1}_{-2}	2±2	F_s+14	0^{+4}
F_5		3÷8	1,0±1,0	2 ±2	F_s+11	0^{+3}
F_6		9÷14	2^{+1}_{-2}	2±2	F_s+13	0^{+4}
F_7		12÷15	2^{+1}_{-2}	2±2	F_s+4	0^{+3}
		16÷23	2^{+1}_{-2}	2±2	F_s+2	0^{+4}
F_8		12÷17	2^{+1}_{-2}	2±2	F_s+3	0^{+3}
		18÷29	2^{+1}_{-2}	2±2	F_s+1	0^{+4}

П4. ТИПОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

П 4.1. Основные задачи технологического проектирования

П 4.1.10. Технологическое проектирование включает:
обеспечение технологичности конструкции изделия;
проектирование технологических процессов;
проектирование элементов производственной системы.

П 4.1.20. Обеспечение технологичности конструкций в САПР осуществляют методами математического моделирования производства в следующем порядке:
анализ технологических возможностей производственной системы;
расчет показателей технологичности;
разработка рекомендаций по содержанию и порядку проведения изменений конструкции изделия с целью улучшения его технологичности;
разработка рекомендаций по содержанию и порядку проведения изменений производственной системы с целью повышения эффективности производства.

П 4.1.21. Задачи обеспечения технологичности конструкций решаются в САПР с применением типовых математических моделей конструкции изделия и производственной системы. Решение этих задач основывается на анализе технико-экономических показателей возможных вариантов технологических процессов и средств оснащения производства при изготовлении рассматриваемой конструкции изделия. Поэтому основное содержание проектных работ по обеспечению технологичности сводится к проектированию технологических процессов и средств оснащения с последующим анализом технико-экономических показателей производства изделия.

П 4.1.30. Технологические процессы, проектируемые в САПР, должны охватывать все этапы производства с описанием технологии на различных уровнях детализации, в том числе:
межцеховые маршрутные технологические процессы (расцеховки);
маршрутные технологические процессы на уровне цеха (участка);
маршрутно-операционные и операционные техологические процессы по видам работ.

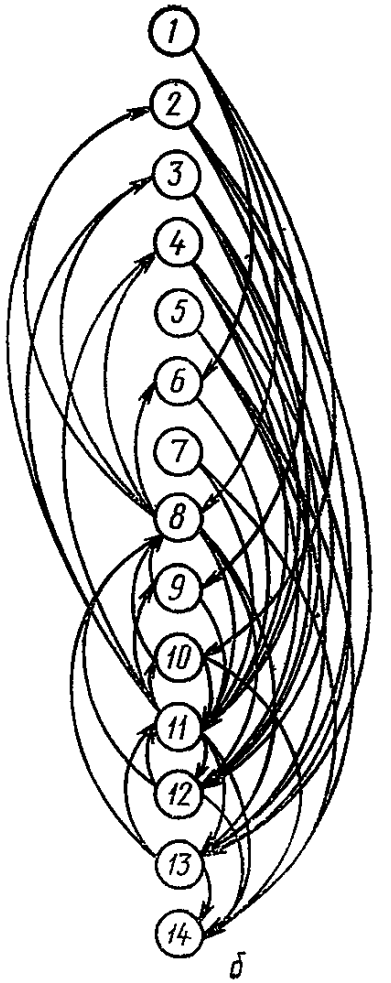
П 4.1.40. При расцеховке решаются две основные задачи:
определение возможных вариантов межцеховых маршрутных технологических процессов изготовления элементов изделия;
выбор оптимальной расцеховки с учетом материальных и трудовых ресурсов производственных подразделений.

П. 4.1.41. Определение возможных вариантов расцеховки осуществляется по типовым математическим моделям. Матрицы контуров этих моделей включают обобщенные контуры, такие, как вид заготовки, вид обработки, марки материала, структурный уровень элемента в конструкции изделия и т. п. Для достаточно сложных изделий типовая математическая модель расцеховки представляет собой, как правило, перестановочную модель класса $S_{12}(P)$.

П 4.1.42. Примером структурной модели расцеховки является перестановочная модель (рис. П 4.1). Матрица контуров (рис. П 4.1, *а*) этой модели — составная и включает в себя:
матрицу собственных контуров $[P \times F^{\circ}(P)]$, описывающую виды выполняемых работ и марки обрабатываемых материалов (контуры F_1—F_{11});
матрицу заходящих контуров $[P \times F^{-}(P)]$, описывающую виды заготовок и полуфабрикатов, поступающих в цеха (контуры F_{12}—F_{17});

Цех		Виды работ						Материалы					Заготовки						Изготавливаемые элементы						
		Литье	Штамповка	Механообработка	Нанесение покрытий	Сборка	Термообработка	Магниевые сплавы	Титановые сплавы	Цветные сплавы	Черные сплавы	Пластмассы	Отливки	Поковки	Штамповки	Прутки	Профили	Листовой материал	Нормали	Мелкие детали	Средние детали	Крупные детали	Узлы	Отсеки и агрегаты	Изделие
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}
Литейный	P_1	●						●		●	●														
Заготовочно-штамповочный	P_2		●						●	●							●			●	●				
Заготовочно-штамповочный	P_3		●						●		●							●		●	●	●			
Заготовочно-штамповочный	P_4		●							●								●		●	●	●			
Пластмасс	P_5		●									●								●	●				
Механический	P_6			●					●	●	●		●	●	●		●			●	●				
Револьверный	P_7			●							●					●			●						
Термический	P_8						●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Механосборочный	P_9			●		●		●					●		●						●	●	●		
Механосборочный	P_{10}			●		●			●	●	●		●	●	●	●	●				●	●	●	●	
Покрытий	P_{11}				●														●	●	●	●	●	●	
Агрегатносборочный	P_{12}					●																	●	●	
Агрегатносборочный	P_{13}					●																		●	
Общей сборки	P_{14}					●																			●

а



б

Рис. П 4.1. Перестановочная модель расцеховки элементов изделия:
а—матрица контуров; *б*—граф смежности цехов

матрицу исходящих контуров $[P \times F^{+} (P)]$, описывающую виды изготавливаемых элементов изделия (контуры F_{18}—F_{24}).

Граф смежности цехов (рис. П 4.1, *б*) — ориентированный, имеющий ориентированные циклы, охватывает возможные маршруты элементов конструкции от заготовки или полуфабриката до готового элемента изделия.

Выбор межцехового маршрута для конкретного элемента изделия возможен только в случае, когда известны, хотя бы укрупненно, технологические процессы его изготовления по видам обработки. Укрупненные технологические процессы либо определяются опытным технологом, либо проектируются по математическим моделям этих процессов.

П 4.1.43. Выбор оптимальной расцеховки основывается на анализе технико-экономических показателей возможных вариантов технологических процессов и средств оснащения производства, поэтому основное содержание оптимизации расцеховки сводится к проектированию технологических процессов с последующим анализом ресурсного обеспечения различных вариантов расцеховки элементов изделия.

П 4.1.50. Маршрутные, маршрутно-операционные и операционные технологические процессы проектируются по типовым математическим моделям, отражающим физическое содержание методов и средств производства. Семантическое содержание этих моделей непосредственно зависит от вида выполняемых работ.

П 4.2. Типовые структурные модели проектирования технологических процессов механической обработки

П 4.2.10. При проектировании технологических процессов механической обработки можно выделить три этапа, на каждом из которых решаются отдельные задачи. К ним относятся:

Этап 1. Определение принципиальной схемы технологического процесса:

выбор заготовки;

выбор состава и последовательности технологических этапов обработки детали;

Этап 2. Проектирование маршрутного технологического процесса:

выбор схемы базирования;

определение последовательности обработки;

выбор состава и последовательности технологических операций;

выбор оборудования и инструмента;

выбор конструктивной схемы приспособления;

выбор схемы наладки инструмента;

выбор и расчет режимов резания;

расчет трудоемкости обработки;

оценка точности.

Этап 3. Проектирование операционной технологии:

выбор состава и последовательности переходов;

расчет режимов резания;

выбор шифров режущего, вспомогательного и измерительного инструмента.

П 4.2.11. Одна и та же задача механической обработки может решаться на различных этапах проектирования с разной степенью детализации. Так, например, если на первом этапе осуществляется выбор вида заготовки (пруток, поковка и т. д.), то окончательное определение размеров заготовки может быть выполнено на последующих этапах проектирования после расчета режимов резания и межоперационных припусков.

П 4.2.12. Состав решаемых задач и метод их решения определяется видом проектируемого технологического процесса механической обработки и используемыми математическими моделями.

Технологические процессы механической обработки подразделяются:
по степени унификации — на типовые, групповые и единичные;
по степени детализации — на маршрутные, операционные и маршрутно-операционные.

П 4.2.13. Для проектирования технологических процессов используются типовые структурные модели технологического проектирования (табличные, сетевые, перестановочные и сочетательные), а также количественные модели.

При проектировании унифицированных технологических процессов механической обработки (типовых и групповых) чаще всего используются стандартные проектные решения, для поиска которых применяются табличные модели. Для проектирования единичных процессов используются сетевые, перестановочные и сочетательные модели, позволяющие осуществить формирование различных вариантов технологических решений.

П 4.2.14. Уровень унификации технологических процессов зависит от степени их детализации, т. е. одинаковые технологические маршруты обработки деталей могут отличаться на уровне операционной технологии и т. д. Чем выше степень детализации технологического процесса, тем больше задач должно быть решено.

П 4.2.15. Выбор класса типовой модели для решения конкретной задачи механической обработки зависит от степени детализации проектного решения, состава исходных данных и структурных взаимосвязей между элементами модели. Одна и та же задача может решаться с использованием моделей различных классов. Так например, выбор операций может осуществляться по табличным моделям выбора операций или по сетевой модели выбора состава операций, оборудования, инструмента и оснастки. Выбор станка может производиться по сетевой модели выбора состава операций, оборудования, инструмента и оснастки или по сочетательной модели выбора типоразмера станка.

П 4.2.16. Структурные модели проектирования технологических процессов механической обработки могут использоваться автономно, а также в автоматизированном режиме. Для организации автоматического режима проектирования необходимо системными средствами обеспечить информационные межмодельные связи. Для организации автоматизированного режима необходимо обеспечить возможность активного диалога между пользователем и системой проектирования. Ниже приведены примеры некоторых типовых математических моделей, используемых при проектировании технологических процессов механической обработки резанием.

П 4.2.20. При выборе заготовки определяется ее форма и размеры, а также способ получения. При этом в качестве критерия оптимизации могут быть выбраны трудоемкость или себестоимость изготовления детали, коэффициент использования материала и т. д. Поскольку для расчета трудоемкости и себестоимости необходимо иметь достаточно полную информацию о технологическом процессе механической обработки, то на начальных этапах проектирования выбор заготовки осуществляется на основании эмпирических зависимостей с использованием эвристических критериев. На рис. П 4.2 приведен пример сочетательной модели класса $S_1^0(П)$ выбора заготовок для изготовления деталей класса «тела вращения» (по материалам [6]).

П 4.2.21. Модель состоит из матрицы состава контуров $[П \times F(P)]$, где $F(П)$ — множество контуров, влияющих на выбор заготовки, и $П$ — множество видов заготовок.

Множество контуров модели разбито на три группы:
диаметр заготовки $d_з$;
n — величина партии;
коэффициент использования материала $W = P_{пр}/P_д$, где $P_{пр}$ — масса заготовки детали из прутка; $P_д$ — масса детали.

Матрица контуров — конъюнктивная. В качестве заготовки может быть выбран пруток или поковка. Взаимосвязь между элементами $П$ не задана, поскольку в каждом конкретном случае выбирается единственный вариант $П_i$ заготовки.

П 4.2.22. Входными данными для выбора заготовки является вектор — строка $F(A) \subseteq F(\Pi)$, сформированная в пространстве контуров модели. При формировании вектора $F(A)$ единицы в его компонентах проставляются в том случае, если исходные данные соответствуют условию, определяющему данный контур. В противном случае компонента вектора $F(A)$ заполняется нулем.

П 4.2.23. Выходными данными является элемент модели Π_i, для которого выполняется условие $F(A) \subseteq F(\Pi_i)$.

П 4.2.24. Выбор заготовки осуществляется в соответствии с типовым алгоритмом проектирования по конъюнктивной сочетательной модели. Например, пусть необходимо выбрать заготовку для вала, диаметр которого лежит в интервале $d_1 \leqslant d_в \leqslant d_2$, коэффициент использования металла $W > W_2$, а величина партии $n < n_1$. Вектор исходных данных равен $F(A) = (010000001001)$. Условие $F(A) \subseteq F(\Pi_i)$ выполняется для строки Π_4, поэтому в качестве заготовки выбирается поковка.

Диаметр						Коэффициент использ. материала			Величина партии				
валов $\phi_в$			дисков и втулок $\phi_д$			W			n				
$\phi_в \vee$	$d_1 \vee$	$d_2 \vee \phi_в$	$\phi_д \vee d_1$	$d_1 \vee \phi_д \vee d_2$	$d_2 \vee \phi_д$	$W \vee W_1$	$W_1 \vee W \vee W_2$	$W_2 \vee W$	$n \vee n_1$	$n_1 \vee n \vee n_2$	$n_2 \vee n$		
F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}		
●			●			●	●	●	●	●	●	π'_1	Пруток
		●			●	●	●	●	●	●	●	π'_2	Поковка
	●			●		●			●	●	●	π'_3	Пруток
	●			●				●	●	●	●	π'_4	Поковка
	●			●			●		●			π'_5	Пруток
	●			●			●				●	π'_6	Поковка
	●			●			●			●		π'_7	Пруток поковка

Рис. П 4.2. Сочетательная модель выбора вида заготовки для деталей класса «тела вращения» (по материалам [6]

П 4.2.30. Необходимость выполнения черновой обработки на отдельном этапе изготовления детали зависит от совокупности различных технологических, организационных и других факторов. Оценить количественно совместное влияние этих факторов на решение этой задачи достаточно сложно. Поэтому в приводимой модели выбора чернового этапа отражены рекомендации на основе обобщения опыта проектирования технологических процессов обработки деталей класса «тела вращения», содержащиеся в работе [6]. Математическая модель (рис. П 4.3) является сочетательной моделью класса $S_1^0(T)$.

Заготовка		Диаметр детали						Коэффициент									Величина партии								
		валов $\phi_{вл}$		втулок $\phi_{вт}$		дисков $\phi_д$		валов $f_{вл}$			втулок $f_{вт}$			дисков $f_д$			валов $n_{вл}$		втулок $n_{вт}$		дисков $n_д$				
пруток	поковка	$\phi_{вл} \leqslant 30$	$30 < \phi_{вл}$	$\phi_{вт} \leqslant 35$	$35 < \phi_{вт}$	$\phi_д \leqslant 42$	$42 < \phi_{вт}$	$f_{вл} \leqslant 0{,}8$	$0{,}8 < f_{вл} \leqslant 1{,}2$	$1{,}2 < f_{вл}$	$f_{вт} \leqslant 1{,}0$	$1{,}0 < f_{вт} \leqslant 1{,}4$	$1{,}4 < f_{вт}$	$f_д \leqslant 1{,}2$	$1{,}2 < f_д \leqslant 1{,}6$	$1{,}6 < f_д$	$n_{вл} \leqslant 5$	$5 < n_{вл}$	$n_{вт} \leqslant 8$	$8 < n_{вт}$	$n_д \leqslant 12$	$12 < n_д$			
F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}			
●		●		●		●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	τ'_1	Черновые проходы на этапе	$Э_4$
●			●		●		●	●			●			●			●	●	●	●	●	●	τ'_2		
●			●		●		●		●			●			●		●		●		●		τ'_3		
●			●		●		●		●			●			●			●		●		●	τ'_4		
●			●		●		●			●			●			●	●	●	●	●	●	●	τ'_5		$Э_2$
	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	τ'_6		

Рис. П 4.3. Сочетательная модель формирования черновых этапов для тел вращения (валов, втулок, дисков)

П 4.2.31. Модель состоит из матрицы состава контуров $[T \times F(T)]$, где $F(T)$ — множество контуров, влияющих на формирование чернового этапа; T — множество операторов выполнения черновых проходов. Множество контуров модели разбито на четыре группы:

вид заготовки;

диаметр детали;

критерий f, равный отношению суммарной величины черновых проходов при обработке наружного контура к длине детали;

величина партии n.

Матрица состава контуров — конъюнктивная. Взаимосвязь между элементами множества T не задана.

П 4.2.32. Входными данными для выбора заготовки является вектор-строка $F(A) \subseteq F(T)$, сформированная в пространстве контуров модели.

П 4.2.33. Выходными данными является элемент модели T_i, для которого выполняется условие $F(A) \subseteq F(T_i)$.

П 4.2.34. Выбор чернового этапа осуществляется в соответствии с типовым алгоритмом проектирования по конъюнктивной табличной модели. Например, пусть необходимо выбрать состав черновых этапов для диска, изготавливаемого из прутка и имеющего диаметр $D > 42$ мм, коэффициент $1{,}2 < f < 1{,}6$, а величина партии $n = 12$. Вектор исходных данных равен $F(A) = (1000000100000001000001 0)$. Условие $F(A) \subseteq F(T_i)$ выполняется для строки τ_3, поэтому черновые этапы должны выполняться на этапе $Э_4$.

П 4.2.40. Выбор состава чистовых этапов определяется в основном точностными и физико-механическими свойствами, которые должна иметь деталь после ее изготовления. При этом качественные характеристики детали достигаются благодаря определенной последовательности этапов механической и термической обработки. Выбор состава и последовательности этапов чистовой обработки для деталей различных классов может осуществляться на основе рекомендаций, содержащихся в работе [6]. Модель, приводимая в данном разделе, предназначена для решения этой задачи.

Примером математической модели выбора чистовых этапов для деталей класса «тела вращения» (по материлам [6]) является табличная модель класса $S_1(T)$ — рис. П 4.4.

Наименование работ	Виды работ	Точность			Шероховатость				Биение			Термообработка и покрытие							
		$JT \le 11$	$11 < JT \le 6$	$6 < JT$	$2{,}5 \le Ra$	$0{,}16 \le Ra < 2{,}5$	$0{,}04 \le Ra < 0{,}16$	$Ra < 0{,}04$	$0{,}15 \le \delta$	$0{,}05 \le \delta < 0{,}15$	$0{,}01 \le \delta < 0{,}05$	цементация		закалка		азотирование		хромирование	
												есть	нет	есть	нет	есть	нет	есть	нет
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}
$Э_4$ получистовой 1	Точение	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛		⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛
$Э_5$ термический 2	Цементация	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛		⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛
$Э_6$ получистовой 2	Точение (съем припуска)	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛		⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛
$Э_7$ термический 3	Закалка	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛		⊛	⊛	⊛	⊛
$Э_8$ чистовой 1	Шлифование		⊛	⊛		⊛	⊛	⊛		⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛
$Э_9$ термический 4	Азотирование	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛		⊛	⊛
$Э_{10}$ чистовой 2	Съем припуска	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛
$Э_{11}$ чистовой 3	Шлифование			⊛			⊛	⊛			⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛
$Э_{12}$ гальванический	Хромирование, никелерование	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	
$Э_{13}$ доводочный	Доводочное шлифование			⊛				⊛				⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛	⊛

Рис. П 4.4. Табличная модель проектирования чистовых этапов обработки наружных поверхностей вращения

П 4.2.41. Модель состоит из матрицы состава контуров $[T \times F(T]$, где $F(T)$ — множество контуров, влияющих на формирование чистовых этапов; T — множество чистовых этапов. Контуры модели разбиты на четыре группы. Первые три группы контуров определяют точность, шероховатость, биение и влияют на состав этапов механообработки. Четвертая группа определяет вид термообработки и покрытия детали и влияет на состав термических этапов.

Матрица состава контуров — конъюнктивная. Взаимосвязь между элементами множества T не задана.

П 4.2.42. Входными данными для выбора чистовых этапов является вектор-строка $F(A) \subseteq F(T_i)$, сформированная в пространстве контуров модели.

П 4.2.43. Выходными данными является выбор $T_i \subseteq T$, причем для каждого $T_j \subseteq T_i$ должно выполняться условие $F(A) \subseteq F(T_j)$.

П 4.2.44. Выбор состава и последовательности чистовых этапов осуществляется в соответствии с типовым алгоритмом проектирования по конъюнктивной табличной модели. Например, пусть необходимо выбрать состав и последовательность чистовых этапов для детали, имеющей следующие характеристики: квалитет точности — 6; шероховатость $Ra = 20$; биение $\delta = 0{,}01$; термообработка — закалка. Вектор исходных данных равен $F(A) =$ $= (0100100010001100101)$. При таком составе исходных данных в состав чистовых этапов войдут: $T_i = (Э_4, Э_7, Э_8)$. поскольку для них выполняется условие $F(A) \subseteq F(T_i)$.

П 4.2.50. Выбор операций механической обработки может осуществляться с использованием различных моделей и алгоритмов технологического проектирования. Одним из примеров является модель для выбора состава и последовательности операторов механообработки группы деталей (см. рис. 3.2), приведенная на рис. 2.3 в разд. 2.

П 4.2.60. Задачи определения последовательности обработки деталей решаются на различных этапах проектирования технологического процесса. К числу таких задач относятся: выбор последовательности этапов обработки, операций, переходов. Каждая из этих задач требует различной полноты описания исходных данных и учета различных факторов. Большое влияние на выбор последовательности обработки оказывает схема базирования, выбор которой плохо поддается формализации. Расчет таких критериев выбора последовательности обработки, как себестоимость и трудоемкость изготовления детали, осложняется тем, что требует достаточно глубокой проработки технологического процесса, расчета режимов резания и нормирования. Все это делает задачу выбора последовательности обработки одной из самых сложных задач проектирования технологических процессов механической обработки.

П 4.2.61. Задачи определения последовательности обработки деталей могут решаться заранее, на этапе разработки математических моделей производственной системы. В этом случае последовательность обработки определяется по табличным или сетевым моделям технологических операторов.

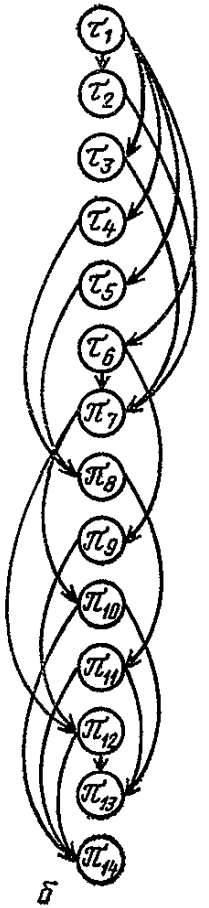
П 4.2.62. Если последовательность обработки не определена заранее (в табличной или сетевой модели), то возможные последовательности обработки проектируются по перестановочной модели технологических операторов либо определяются опытным технологом

П 4.2.70. Основными элементами производственной системы, определяющими процесс механической обработки детали, являются: операции (T), оборудование ($P_о$), инструмент ($P_и$) и приспособления ($P_п$). Выбор состава этих элементов может осуществляться последовательно по моделям, аналогичным моделям рис. П 4.2—П 4.4 и т. п., описывающим каждую из перечисленных групп элементов в отдельности. Однако в этом случае трудно учесть структурные связи между элементами различных групп, т. е. связи вида $T \to P_о \to P_и \to P_п$. В связи с этим на ранних этапах проектирования технологического процесса целесообразно использовать модели, описывающие структурные связи между элементами производственной системы и позволяющие синтезировать варианты технологического процесса из цепочек вида: операция→оборудование→инструмент→приспособление. Математическая модель решения этой задачи состоит из двух частей:

структурной сетевой модели проектирования вариантов состава операций, оборудования, инструмента и оснастки (рис. П 4.5);

			F^I				F^{II}			F^{III}			F^{IV}					
			плоскость	цилиндрическая поверхность	фасонная поверхность	цилиндрическое отверстие	7 кв.	10 кв.	11 кв.	∇ 4–5	∇ 6–7	∇ 8–9	$D(B) \leqslant 20$	$20 < D(B) \leqslant 400$	$400 < D(B) \leqslant 900$	$L \leqslant 100$	$100 < L \leqslant 900$	$900 < L \leqslant 1200$
			F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}
T	исходный оператор	τ_1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	точение черновое	τ_2		●					●	●			●	●	●	●	●	●
	точение чистовое	τ_3		●			●	●			●	●	●	●	●	●	●	●
	фрезер. черновое	τ_4	●		●				●	●			●	●	●	●	●	●
	фрезер. чистовое	τ_5	●		●		●	●			●	●	●	●	●	●	●	●
	сверление	τ_6				●			●	●			●	●	●	●	●	●
$П_С$	токарный станок	π_7	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	
	фрезерный станок	π_8	●		●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	сверлильный станок	π_9				●		●	●	●	●		●			●		
$П_И$	резец	π_{10}	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	фреза	π_{11}	●		●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	сверло	π_{12}				●			●	●			●			●		
$П_П$	универсал. присп.	π_{13}	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	специальн. присп.	π_{14}	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

а



б

Рис. П 4.5. Сетевая модель состава оснащения механообработки:
а—матрица контуров; *б*—граф смежности элементов производственной системы

количественной модели расчета технико-экономических показателей, например — расчета трудоемкости механической обработки (рис. П 4.6).

τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5	τ_6	π_7	π_8	π_9	π_{10}	π_{11}	π_{12}	π_{13}	π_{14}
●	●					●			●			●	●
●		●				●			●			●	●
●			●				●			●		●	●
●				●			●			●		●	●
●					●			●			●	●	●

а

A_T
$0{,}17 \cdot 10^{-9}$
$0{,}51 \cdot 10^{-9}$
$0{,}72 \cdot 10^{-6}$
$0{,}24 \cdot 10^{-6}$
$0{,}15 \cdot 10^{-7}$

б

α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9
1,0	1,0	0,18	0,65	1,0	1,0	1,0	0,55	0,36
1,0	1,0	0,18	0,65	1,0	1,0	1,0	0,55	0,36
0 34	1,0	0,4	−0,67	1,0	1,0	1,0	0,55	0,25
0,34	1,0	0,4	−0,67	1,0	1,0	1,0	0,55	0,25
0,79	1,0	0,0	−0,54	1,0	1,0	1,0	0,55	0,40

в

P_1—D — (диаметр (ширина); P_2—L — (длина); P_3—t — (припуск); P_4—S — (подача); P_5—i— (количество одинаковых поверхностей); P_6—$\Gamma_{мр}$— (коэффициент материала); P_7—$\Gamma_{ми}$ — (коэффициент материала инструмента); P_8—σ — (прочность); P_9—7 — (разряд).

Рис. П 4.6. Количественная модель расчета трудоемкости механической обработки:

а—матрица взаимосвязи элементов производственной системы и формул трудоемкости; *б*—матрица коэффициентов пропорциональности; *в*—матрица показателей

П 4.2.71. Структурная модель выбора состава операций, оборудования, инструмента и оснастки состоит из матрицы состава контуров $[P \times F(P)]$, где $F(P)$ — множество контуров; P — множество операторов и средств оснащения технологической системы, и графа связи элементов производственной системы $G = (P, C)$, описывающего структурные связи между элементами модели. Множество контуров модели разбито на четыре группы:

форма обрабатываемой поверхности;

квалитет точности;

шероховатость;

размерные характеристики.

В графе $G = (P, C)$ существует пять уровней:

1 — исходный оператор τ_1;

2 — уровень операторов (операций) T;

3 — уровень оборудования P_o;

4 — уровень инструмента $P_и$;

5 — уровень оснастки $P_п$.

Оператор τ_1 соединен дугами со всеми операторами множества T, которые соединены дугами с элементами множества оборудования P_o, вершины P_o соединены с вершинами $P_и$ и т. д.

Матрица состава контуров структурной модели — конъюнктивная. Взаимосвязь между элементами множества P задана графом связи элементов производственной системы.

П 4.2.72. Количественная модель трудоемкости механообработки обеспечивает выполнение расчетов по степенным формулам вида

$$P=A\cdot\prod_{i=1}^{n}P_i^{\alpha_i},$$

где P — рассчитываемый показатель; A — коэффициент пропорциональности; P_i — параметр; α_i — показатель степени.

Параметрами в степенных формулах являются величины, отражающие конструктивно-технологические свойства изделий и элементов производственной системы. Модель состоит из матрицы (рис. П 4.6, *а*) взаимосвязи элементов производственной системы с формулами расчета трудоемкости, матрицы (рис. П 4.6, *б*) коэффициентов пропорциональности и матрицы (рис. П 4.6, *в*) показателей системы. Матрица (рис. П 4.6, *а*) описывает, для каких элементов множества P применимы формулы расчета трудоемкости.

П 4.2.73. Входными данными для проектирования вариантов состава операций, оборудования, инструмента и оснастки является матрица $[F(a)\times F]$ взаимосвязи обрабатываемых контуров детали с контурами производственной системы; каждой поверхности $F_i(a)$ детали a в матрице $[F(a)\times F]$ соответствует вектор-строка в пространстве контуров F.

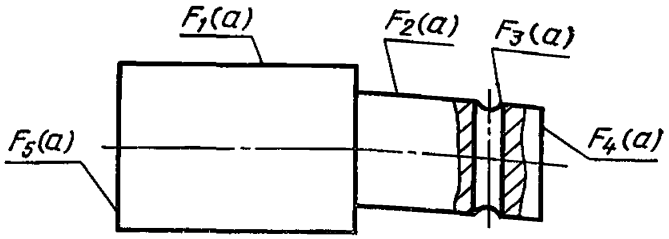
Входными данными для расчета трудоемкости механообработки является вектор количественных параметров P, описывающих конструктивно-технологические свойства обрабатываемой поверхности детали и режимы обработки, а также булев вектор, описывающий цепочку: операция→оборудование→инструмент→приспособление, применяемую для обработки поверхности.

П 4.2.74. Выходными данными структурной модели проектирования являются варианты составов операций, оборудования, инструмента и оснастки, которые могут быть использованы для обработки поверхностей детали.

Выходными данными количественной модели являются значения трудоемкости механообработки, рассчитанные для вариантов составов операций, оборудования, инструмента и оснастки.

П 4.2.75. Решение задачи осуществляется в несколько этапов. На первом этапе по сетевой конъюнктивной модели структурного проектирования осуществляется формирование вариантов операций, оборудования, инструмента и оснастки. Для этого в графе $G=(P, C)$ осуществляется построение путей, причем каждый путь $\mu_i=(\tau_i, P_{вi}, \ldots P_{иk}, \ldots P_{пe})$ является вариантом технологического процесса обработки поверхности. Далее производится поиск тех поверхностей детали, которые могут быть реализованы этим путем. После этого строится следующий путь в графе, и т. д. Таким образом, после функционирования структурной модели для каждой поверхности детали могут быть найдены варианты технологического процесса ее обработки.

Для определения трудоемкости вариантов технологического процесса по матрице вида (рис. П 4.6, *а*) в соответствии с типовым алгоритмом проектирования осуществляется поиск необходимой формулы, а далее по ней — расчет трудоемкости. Например, пусть необходимо выбрать варианты составов операций, оборудования, инструмента и приспособлений для детали (рис. П 4.7, *а*). Состав исходных данных для трех ее поверхностей приведен на рис. П 4.7, *б*. Рассмотрим путь $\mu_i=(\tau_1, \tau_2, \pi_7, \pi_{10}, \pi_{13})$ в графе (рис. П 4.5, *б*). Итоговый его вектор контуров (рис. П 4.7, *в*) равен $F(\mu_i)=[0100001100110110]$. Поскольку для поверхности $F_1(a)$ выполняется условие $F_1(a)\subseteq F(\mu_i)$, то путь μ_i может быть использован для реализации поверхности $F_1(a)$. В то же время для поверхности $F_2(a)$ это условие не выполняется, и поэтому путь μ_i не может быть использован для ее реализации.



а

$$
\begin{array}{l}
\\
F_1(a)= \\
F_2(a)= \\
F_3(a)=
\end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccccccccccccc}
F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 & F_7 & F_8 & F_9 & F_{10} & F_{11} & F_{12} & F_{13} & F_{14} & F_{15} & F_{16}
\end{array} \\
\left[\begin{array}{cccccccccccccccc}
0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0
\end{array}\right]
\end{array}
$$

б

$$\mu_l=(\tau_1,\ \tau_2,\ \pi_7,\ \pi_{10},\ \pi_{13})$$

$$
\begin{array}{rl}
 & {}_{\wedge}F(\tau_1)=[\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ ] \\
 & {}_{\wedge}F(\tau_2)=[\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ ] \\
F(\mu_l)= & {}_{\wedge}F(\pi_7)=[\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ ] \\
 & {}_{\wedge}F(\pi_{10})=[\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ ] \\
 & F(\pi_{13})=[\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ ] \\
 & F(\mu_l)=[\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ ]
\end{array}
$$

в

Рис. П 4.7:

а—деталь; *б*—состав исходных данных; *в*—вектор контуров

П 4.3. Типовые структурные модели проектирования технологических процессов листовой штамповки

П 4.3.10. Проектирование технологических процессов листовой штамповки выполняется в три этапа:

1) выбор заготовки и полуфабриката;

2) определение состава и последовательности операций листовой штамповки;

3) проектирование рабочего технологического процесса штамповки.

П 4.3.11. На первом этапе решаются задачи, позволяющие определить принципиальную схему технологического процесса изготовления детали. При решении этих задач качественные характеристики детали, такие, как точность, прочность и т. п., выступают в качестве ограничений. Укрупненные технико-экономические показатели и коэффициент использования материала являются основными условиями получения рациональных решений на данном этапе проектирования. На этом этапе решаются задачи:

определения заготовки и выбора полуфабриката;

определение карт раскроя материала;

расчет укрупненных технико-экономических показателей и коэффициента использования материала.

П 4.3.12. На втором этапе проектируется маршрутный технологический процесс штамповки. Для этого этапа является характерным определение состава и последовательности операций изготовления деталей и рабочих мест, на которых они выполняются. При расчете технико-экономических показателей процесса выполняется нормирование затрат труда, укрупненный расчет затрат на оснащение, определение цикла, укрупненный расчет технологической себестоимости. Решение задач этого этапа позволяет конкретизировать проектируемый технологический процесс и сузить область рациональных решений, выб-

ранных на первом этапе. Основными задачами, решаемыми на данном этапе, являются:

определение вариантов состава и последовательности операций листовой штамповки;

расчет норм времени, цикла, технологической себестоимости;

выбор оптимального состава и последовательности операций.

П 4.3.13. На третьем этапе решаются следующие задачи:

определение состава и последовательности переходов;

определение состава оборудования, приспособлений и инструмента, а также вспомогательных материалов;

определение конструктивных схем приспособлений;

определение состава и квалификации исполнителей;

расчет режимов;

детальный расчет технико-экономических показателей и выбор оптимального варианта рабочего технологического процесса листовой штамповки.

П 4.3.20. Для выбора состава и последовательности операторов изготовления деталей листовой штамповкой может применяться сетевая математическая модель класса S_3.

П 4.3.21. Математическая модель $S(T)$, представленная на рис. П 4.8, относится к классу S_3 сетевых математических моделей и предназначена для проектирования технологических процессов изготовления деталей листовой штамповкой.

Математическая модель $S(T)$ состоит из матрицы состава контуров $[T \times F(T)]$ (рис. П 4.8, *а*) и графа взаимосвязи операторов $G = (T, C)$ (рис. П. 4.8, *б*).

Контуры матрицы $[T \times F(T)]$ подразделяются на четыре группы, условно названные: полуфабрикат, заготовка, деталь промежуточная, готовая деталь. Матрица состава контуров — дизъюнктивная. В ней можно выделить блоки, характеризующие технологические возможности операторов по реализации групп контуров.

Взаимосвязь между технологическими операторами задана графом $G = (T, C)$ без циклов с фиктивной вершиной τ_0. Построение пути может завершаться на любой вершине в зависимости от состава контуров построенного пути.

П 4.3.22. Входными данными для получения проектного решения является вектор-строка, задающий состав контуров изделия, который необходимо реализовать при выполнении технологического процесса. Состав контуров изделия задается в терминах контуров матрицы $F(T)$. Исходные данные для деталей, представленных на рис. П 4.9, *а* и *б*, приведены соответственно на рис. П 4.9, *в* и *г*.

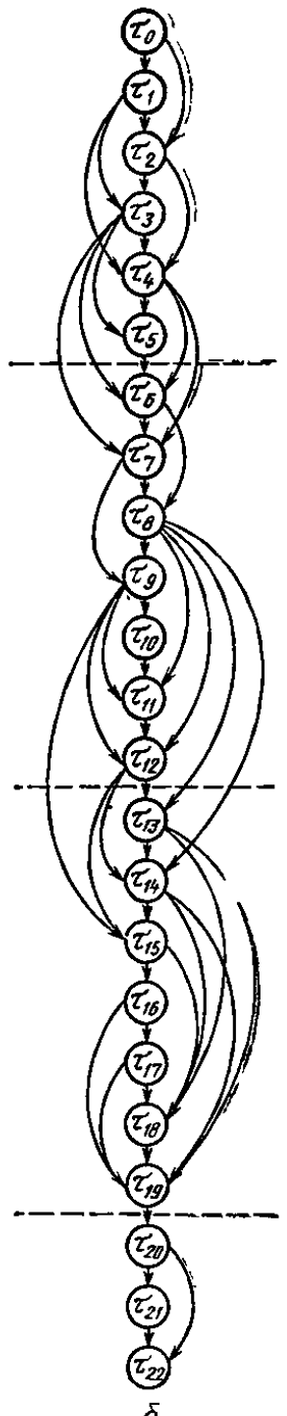
П 4.3.23. Выходными данными являются варианты путей $\mu_1, \ldots, \mu_n$, объединяющие технологические операторы, для которых выполняется условие $F(A) \subseteq F(T')$, где $F(T') = F(\mu_i)$, $F(\mu_i) = \overset{n}{\underset{k=1}{VF}}(\tau_k)$, где k принимает значения номеров вершин, вошедших в построенный путь μ_i. Варианты проектных решений для рассмотренных деталей, полученные по модели $S(T)$, приведены на рис. П 4.9, *д*, *е*.

П 4.3.24. Алгоритм получения проектных решений по модели $S(T)$ относится к типовым алгоритмам обработки сетевых моделей с дизъюнктивной матрицей состава контуров. Он сводится: к поиску по матрице состава контуров набора технологических операторов, которые могут применяться для реализации контуров заданного изделия; выделению подграфа, соответствующего выделенному набору операторов из графа $G = (T, C)$; построению в подграфе путей, соответствующих технологическим процессам изготовления деталей; проверке проектных решений на выполнение условий $F(A) \subseteq F(T)$.

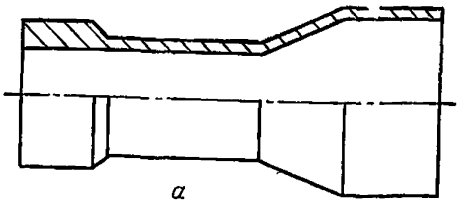
П 4.3.30. Для выбора состава операторов и средств оснащения листовой штамповки может применяться сетевая математическая модель. Эта модель позволяет проектировать технологические процессы, различающиеся как по составу операций листовой штамповки, так и по составу средств оснащения, применяемого для выполнения этих операций.

Рис. П 4.8. Математическая модель штамповки:
а—матрица состава контуров; *б*— граф взаимосвязи операции

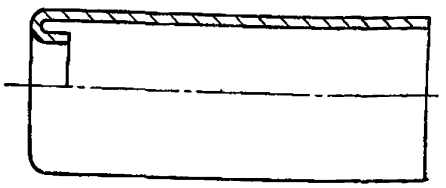
		Полуфабрикат						Заготовка								Деталь							Готовая деталь			
		физико-механические свойства				материал	поверхность	вид заготовки		геометрические свойства				заусенцы	чистота поверхности	параметры заготовки	вид детали		геометрические свойства				форма детали	покрытие	маркировка	контрольные свойства	
		Д16Т	АМг6	бумага	смазка			полоса	труба	плоская без выреза	плоская с вырезом	одинарной кривизны	двойной кривизны				стакан	обечайка	утолщение	расширение	фланец	борт				точность	маркировка
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{25}	F_{26}
Удалить бумагу	τ_1			●																							
Удалить смазку	τ_2				●																						
Контролировать марку материала	τ_3					●																					
Контролировать поверхность полуфабриката	τ_4						●																				
Выполнить термообработку	τ_5	●																									
Разметить	τ_6							●	●			●	●														
Раскроить на полосы	τ_7							●																			
Отрезать	τ_8								●																		
Вырубить	τ_9									●	●																
Пробить отверстие	τ_{10}										●																
Зачистить	τ_{11}													●													
Контролировать	τ_{12}														●	●											
Выполнить осадку с нагревом	τ_{13}																		●								
Выполнить раздачу	τ_{14}																			●							
Выполнить вытяжки	τ_{15}																●				●						
Пробить отверстие	τ_{16}																●				●						
Выполнить отбортовку	τ_{17}																					●					
Обрезать	τ_{18}																●	●									
Контролировать форму детали	τ_{19}																						●				
Нанести покрытие	τ_{20}																							●			
Маркировать	τ_{21}																								●		
Контролировать деталь	τ_{22}																									●	●



б



а



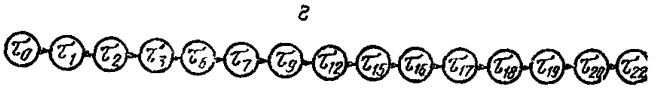
б

$F(а) = F_4, F_5, F_1, F_8, F_{11}, F_{18}, F_{19}, F_{22}, F_{23}, F_{24}, F_{25}$

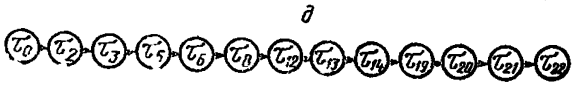
в

$F(б) = F_3, F_4, F_5, F_7, F_9, F_{15}, F_{16}, F_{20}, F_{22}, F_{23}, F_{25}, F_{2}$

г



д



е

Рис. П 4.9. Детали, изготавливаемые штамповкой:

а—деталь типа «обечайка»; *б*—деталь типа «стакан»; *в, г*—исходные данные; *д, е* — варианты технологических процессов

Для получения оптимального технологического процесса необходимо сравнить полученные варианты технологических процессов по технико-экономическим показателям, выбранным в качестве критериев оптимизации. Для расчета технико-экономических показателей вариантов применяется количественная модель, форма которой аналогична количественной модели, представленной в П 4.2.72. Основой для организации межмодельных связей структурной и количественной модели являются номера операторов, оборудования, инструмента и приспособлений, применяемые для поиска степенной формулы количественной модели.

П 4.3.31. Математическая модель $S(P)$, представленная на рис. П 4.10, относится к классу S_3 сетевых математических моделей. Она предназначена для получения вариантов состава операций технологических процессов листовой штамповки профилей. Каждый из составов операций может отличаться как видом операций, так и составом средств оснащения для их выполнения.

Математическая модель $S(P)$ состоит из матрицы состава контуров $[P \times F(P)]$ (рис. П 4.10, *а*) и графа взаимосвязи элементов модели, а именно: технологических операторов $T = \{\tau_1 \ldots \tau_9\}$ и средств снащения $П = \{\pi_1, \ldots, \pi_{14}\}$. Граф взаимосвязи $G = (P, C)$ представлен матрицей смежности вершин (рис. П 4.10, *б*). Контуры $F(P)$ матрицы состава контуров включают следующие группы: сечение, форма, габаритные размеры (L, B, H), марка материала. Элементами P являются операции, оборудование, приспособления и инструмент.

			Профиль	Сечение					Форма								Размер L				Размер B				Размер H				Материал		
				уголковое	Z-образное	тавровое	швеллерное	переменное	прямой	одинарной кривизны	двойной кривизны	знакопеременной кривизны	со скосами	с вырезами	с подсечками	с отверстиями	до 400	до 600	до 800	до 1000	до 12	до 25	до 50	до 75	до 12	до 25	до 50	до 75	Д 16, В 95	АМг, АМг 6	МА-1, МА-8
			F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{25}	F_{26}	F_{27}	F_{28}	F_{29}
Операции	Раскрой	τ_1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Правка	τ_2	●	●	●	◐	◐	◐	◐				◐	◐		●	●	◐	●	◐	●	◐	●	◐	●	●	●	●	●	◐	●
	Образование скосов	τ_3	●	●	●	◐	◐	◐					◐				●	◐	●	●	●	◐	◐	◐	●	●	●	●	●	◐	●
	Образование вырезов	τ_4	◐	◐	◐	●	◐	◐						◐			◐	◐	●	◐	◐	◐	●	◐	●	●	●	●	●	●	●
	Подсечка	τ_5	●	●	◐	●	●	◐							◐		◐	●	●	◐	●	●	◐	◐	●	●	●	●	●	●	●
	Гибка	τ_6	●	●	◐	◐	●	◐		●	◐	●					◐	●	●	◐	◐	●	◐	◐	◐	●	●	●	●	●	
	Гибка с нагревом	τ_7	◐	●	◐	◐	◐	◐		◐	◐	●					●	◐	●	◐	●	◐	◐	◐	●	●	●	◐			●
	Образование отверстий	τ_8	◐	●	◐	◐	◐	●								◐	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Контроль	τ_9	●	●	◐	●	◐	◐	●	●	◐	●	◐	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	◐	◐	●	●	●	●
Оборудование	Пресс-ножницы	π'_1	●	◐	◐	◐	●		●								●				●	●	◐		●	●	●		●	●	●
	Пресс кривошипный	π'_2	●	●	◐	◐	◐	◐	◐								◐				◐	●	◐		●	●	●		●	◐	●
	Ножницы гильотинные	π'_3	◐	◐	●	●	◐		◐								●	●			●	◐	◐		●	●	●		●	●	●
	Пресс фрикционный	π'_4	●	●	◐	◐	●	◐							●		◐	◐	●	●	●	◐	●	◐	●	●	●	●	●	●	●
	Станок профилегибочный	π'_5	●	●	●	◐	●	●		●	●	●						●	●	●	●	●	◐	◐	●	◐	●	●	●	●	●
	Станок вертикально-сверлильный	π'_6	●	●	●	●	●	●	●							●	●	●			●	●	●	◐	●	●	●	●	●	◐	●
Инструмент и приспособления	Штамп для резки	π'_7	●	●	●	●	●	◐	●								●				●	●	●		●	●	●		●	●	●
	Штамп для правки	π'_8	●	◐	◐	◐	●		●								●				◐	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●
	Штамп для образования скосов	π'_9	●	●	●	●	●	●	●				◐				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Штамп для вырезов	π'_{10}	●	●	◐	●	●	●						◐			●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Штамп для гибки	π'_{11}	●	●	●	◐	●	●		◐	◐	◐					◐	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Штамп для пробивки отверстий	π'_{12}	●	●	●	◐	●	●								●	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●
	Сверло	π'_{13}	●	●	●	●	●	●								●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Шаблон	π'_{14}	●	●	●	●	●	●	●	◐	◐	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

а

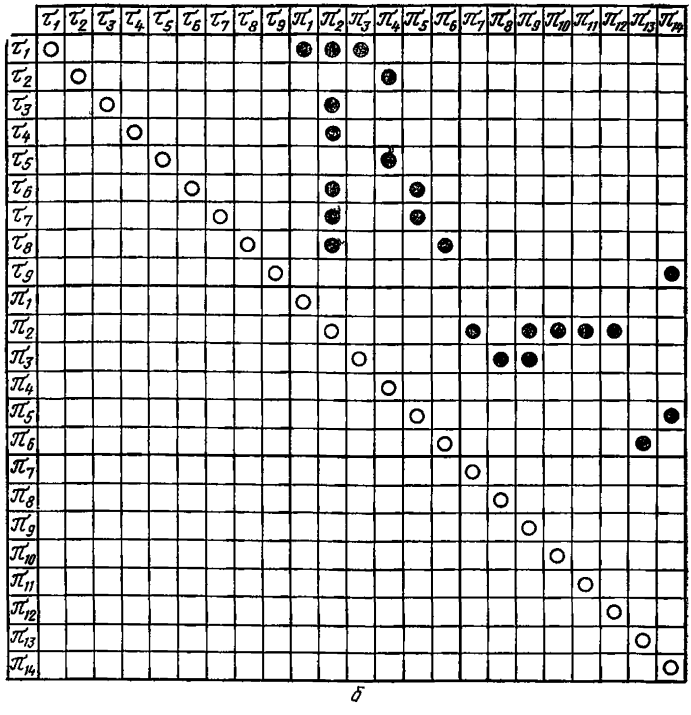


Рис. П 4.10. Сетевая модель выбора состава операций и средств оснащения листовой штамповки:

а—матрица состава контуров; *б*—граф взаимосвязи

Матрица состава контуров модели $S(P)$ — конъюнктивная. Она характеризует применяемость технологических операторов τ_i, $\tau_j \in T$ и элементов производственной системы π_i, $\pi_j \in \Pi$ для реализации контуров изделия $F(A)$.

Граф $G=(P, C)$ — ранжированный, без циклов, с висячими конечными вершинами. В нем выделены вершины трех рангов: операции, оборудование, инструмент и приспособления. Разрешены связи между вершинами разных рангов, причем только соседних.

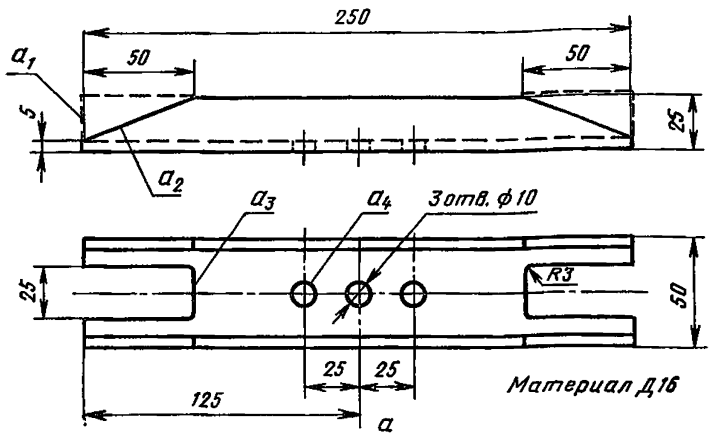
П 4.3.32. Входными данными для получения проектных решений является множество векторов-строк $F(A)$, характеризующих состав контуров детали и ее элементов. Для профиля, представленного на рис. П 4.11, *а*, входные данные $F(A)=(F(a_1), F(a_2), F(a_3), F(a_4), F(A)$ (рис. П 4.11, *б*).

П 4.3.33. Выходными данными являются варианты составов операторов и средств оснащения $T_1, \ldots, T_n$. Выходные данные сгруппированы в соответствии со связями, заданными в $G=(P, C)$. Для каждой из векторов-строк $F(a_i)$, заданной во входных данных, получается одна группа каждого варианта T_i. Группа включает технологический оператор τ_i и элементы производственной системы (π_j, π_e), необходимы для его выполнения.

Для включения группы (τ_l, π_j, π_e) в проектное решение должно выполняться условие $F(a_k) \subseteq F\tau_i) \wedge F(\pi_j) \wedge F(\pi_e)$.

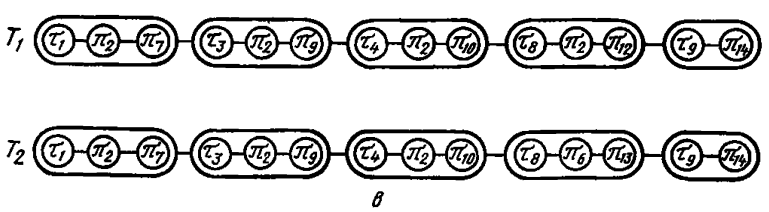
Для всего проектного решения T_i необходимо выполнение условия $F(A) \subseteq F(T_i)$.

На рис. П 4.11, *в* представлены два варианта проектных решений T_1 и T_2, полученных по модели $S(P)$ для детали, представленной на рис. П 4.11, *а*.



		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{25}	F_{26}	F_{27}	F_{28}	F_{29}
Заготовка	a_1	●				●										●						●			●			●		
Скосы	a_2	●				●						●				●						●			●			●		
Вырезы	a_3	●				●							●			●						●			●			●		
Отверстия	a_4	●				●									●	●						●			●			●		
Готовая деталь	A	●				●						●	●		●	●						●			●			●		

б



в

Рис. П 4.11. Деталь:

а—исходные данные; *б*—варианты технологических процессов; *в*—изготовление детали

П 4.3.34. Алгоритм получения проектного решения по модели $S(P)$ является типовым алгоритмом обработки сетевых моделей класса S_3. Получение проектного решения по этому алгоритму выполняется в последовательности, аналогичной описанной в пп. 4.2.75.

П 4.4. Типовые структурные модели проектирования технологических процессов механосборки

П 4.4.10. Технологическое проектирование сборочных работ разделяется на три взаимосвязанных этапа:

1) выбор схемы базирования и состава оснащения сборки;

2) определение последовательности установки элементов сборочной единицы.

3) проектирование рабочего технологического процесса сборки.

П 4.4.11. На первом этапе, который относится одновременно и к проектированию технологического процесса, и оснащения сборки, решаются следующие задачи:

выбор схемы базирования элементов сборочной единицы;

выбор конструктивной схемы и сборочного приспособления;

выбор схемы увязки оснастки.

П 4.4.12. На втором этапе решаются следующие задачи:

выбор возможных последовательностей установки элементов сборочной единицы с учетом условий базирования и доступа в зону сборки;

выбор оптимальной последовательности установки элементов сборочной единицы.

П 4.4.13. На третьем этапе решаются следующие задачи:

выбор состава и последовательности выполнения операций соединения, механической обработки в разделочных стендах, герметизации, контроля и т. д. при заданной последовательности установки элементов сборочной единицы;

выбор состава оснастки, инструмента, оборудования и вспомогательных материалов;

определение состава и квалификации исполнителей;

расчет технико-экономических показателей и выбор оптимального варианта технологического процесса сборки.

П 4.4.20. Для решения задачи выбора состава операторов установки и закрепления деталей при сборке могут применяться табличные и сочетательные математические модели. Основное значение для выбора операторов установки имеют базовые свойства деталей сборочной единицы, определяемые пространственной взаимосвязью. Состав операторов может быть выбран однозначно, или могут быть определены возможные варианты составов операторов установки и закрепления. Каждый из составов операторов отражает определенный способ базирования, поэтому решение задачи выбора состава операторов установки и закрепления деталей позволяет определить схему базирования. Исходной информацией для построения математической модели является чертеж сборочной единицы и технические условия на сборку. По чертежу определяется пространственная взаимосвязь деталей и строится граф $G=(A, C)$ сопряжения деталей сборочной единицы. На рис. П 4.12 представлена схема сборочной единицы — редуктора. Граф сопряжения его деталей приведен на рис. П 4.13. Для построения моделей анализируется сопряжение деталей по графу сопряжения и определяются базовые свойства деталей по чертежу. Когда состав деталей, сопрягаемых с рассматриваемой деталью, определяет единственный вариант установочных операторов, а сами операторы могут быть упорядочены, строится табличная модель. Если возможно несколько вариантов составов операторов установки и закрепления детали и операторы установки упорядочивать нецелесообразно, тогда строится сочетательная модель.

П 4.4.30. Для решения задачи определения состава и последовательности операторов сборки изделия могут применяться перестановочные модели. Задачу целесообразно решать после разработки схемы сборки для подсборок, деталей и соединений сборочной единицы и для каждой из подсборок, в свою очередь отдельно. Это позволяет уменьшить количество вычисляемых перестановок и тем самым сократить время, необходимое для принятия решения. Для редуктора, изображенного на рис. П 4.12, при разработке схемы сборки выделены следующие элементы конструкции:

подсборка $П_1$ — корпус;

подсборка $П_2$ — вал входной в сборе;

подсборка $П_3$ — вал выходной в сборе;

подсборка $П_4$ — крышка редуктора;

подсборка $П_5$ — крышка глухая выходного вала;

подсборки $П_6$, $П_7$, $П_8$ — крышки сквозные входного и выходного вала;

детали a_8, a_{12}, a_{16}, a_{24} — прокладки;

соединения: S_1 — болтовое соединение корпуса $П_1$ и крышки $П_4$; S_2, S_3, S_5 — винтовые соединения сквозных крышек входного и выходного вала; S_4 — винтовое соединение глухой крышки выходного вала; S_6 — винтовое соединение крышки отдушины.

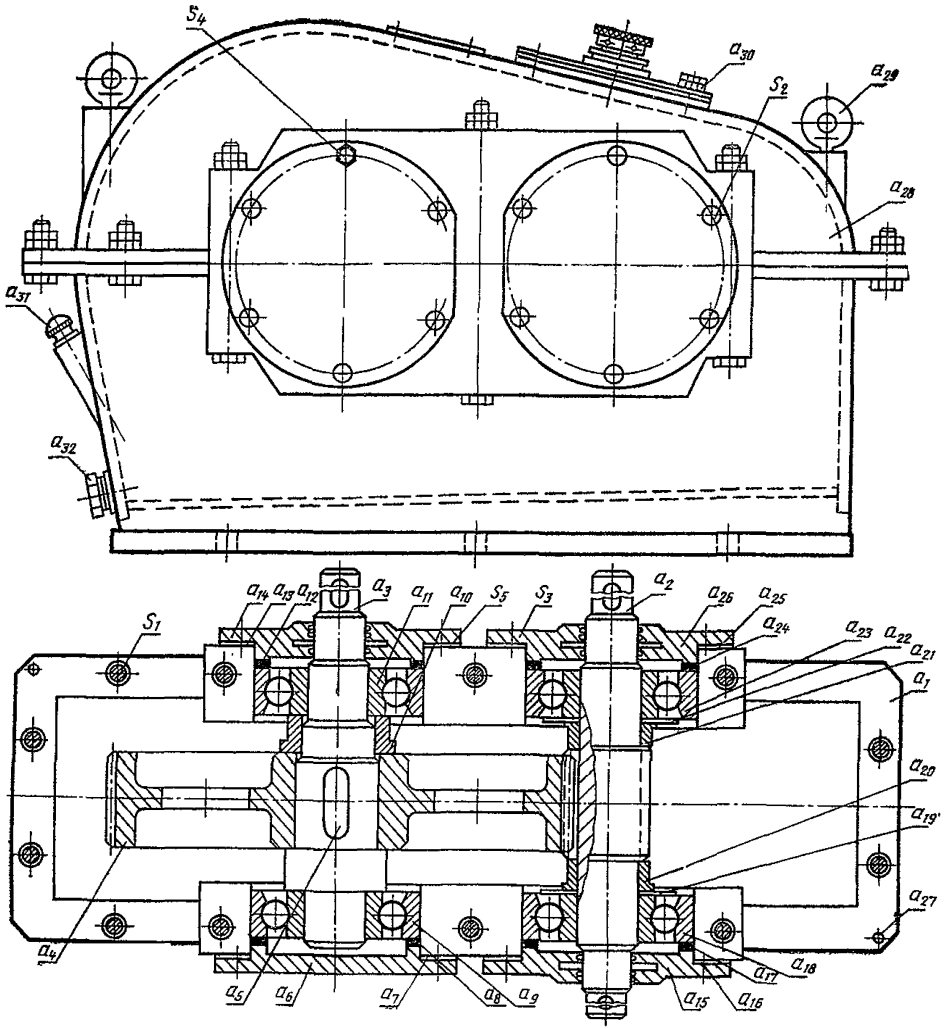


Рис. П 4.12. Схема редуктора

a_1	Корпус
a_2	Вал входной
a_3	Вал выходной
a_4	Колесо зубчатое
a_5	Шпонка
a_6	Крышка глухая
a_7	Прокладка
a_8	Прокладка
a_9	Подшипник
a_{10}	Втулка распорная
a_{11}	Подшипник
a_{12}	Прокладка
a_{13}	Прокладка
a_{14}	Крышка сквозная
a_{15}	Крышка сквозная
a_{16}	Прокладка
a_{17}	Прокладка
a_{18}	Подшипник
a_{19}	Кольцо маслоотражательное
a_{20}	Втулка распорная
a_{21}	Втулка распорная
a_{22}	Кольцо маслоотражательное
a_{23}	Подшипник
a_{24}	Прокладка
a_{25}	Прокладка
a_{26}	Крышка сквозная
a_{27}	Штифт конический
a_{28}	Крышка
a_{29}	Рым-болт
a_{30}	Крышка-отдушина
a_{31}	Маслоуказатель
a_{32}	Пробка

Рис. П4.12. Схема редуктора

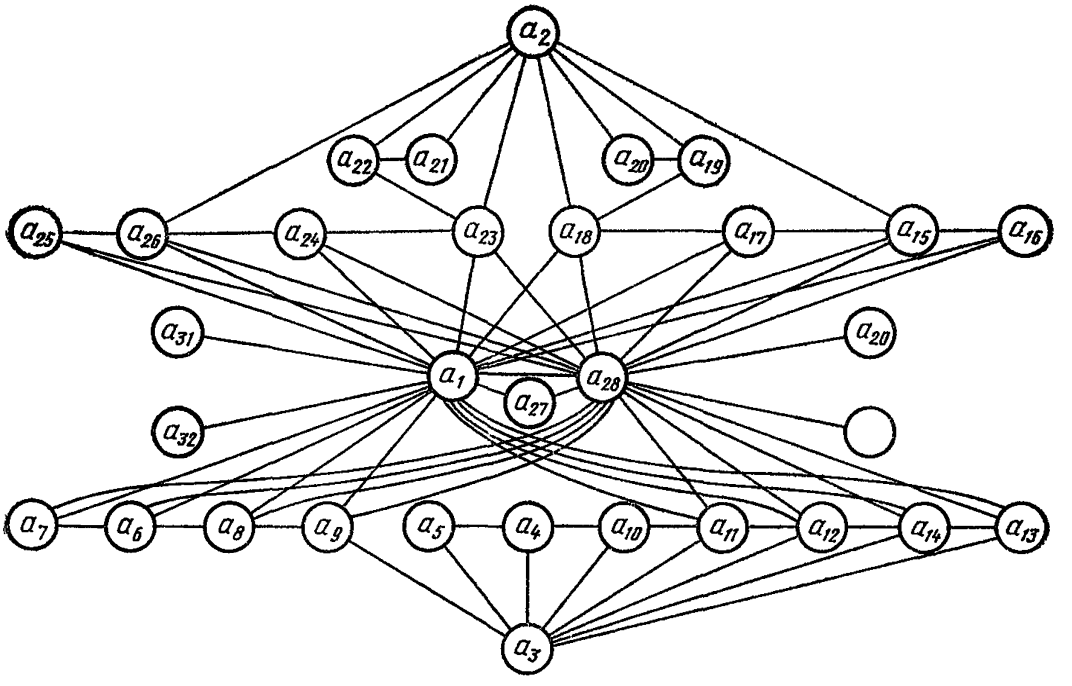


Рис. П 4.13. Граф сопряжений деталей редуктора

В состав подсборки $П_3$ входят:
a_3 — вал выходной;
a_4 — колесо зубчатое;
a_5 — шпонка;
a_9, a_{11} — подшипники;
a_{10} — втулка распорная.

По структурным моделям выбора состава операторов установки и закрепления деталей, построенным на основе анализа пространственной взаимосвязи [6], для деталей подсборки определяют операторы установки и закрепления, а также возможные способы базирования. Это позволяет сформировать ограничения по базированию и доступу (рис. П 4.14), которые являются основой для упорядочения операторов сборки.

		Вид элемента конструкции			Посадка		
		деталь	деталь с резьбой	соединение	с натягом	переходная	с зазором
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
Вал выходной	a_3	●					●
Колесо зубчатое	a_4	●					●
Шпонка	a_5	●					●
Подшипник	a_9	●			●		
Втулка распорная	a_{10}	●					●
Подшипник	a_{11}	●			●		

а

Обозначение элемента	B	D
a_3	1	$a_9 \wedge (a_4 \vee a_{10} \vee a_{11})$
a_4	$a_3 \wedge a_5$	$a_3 \wedge (a_{10} \vee a_{11})$
a_5	a_3	a_4
a_9	a_3	0
a_{10}	$a_3 \wedge a_4$	$a_3 \wedge a_{11}$
a_{11}	$a_3 \wedge a_{10}$	0

б

Рис. П 4.14. Исходные данные и ограничения по базированию и доступу

П 4.4.31. Математическая модель $S(T)_{П_3}$, представленная на рис. П 4.15, относится к классу S_{10} перестановочных моделей и предназначена для определения состава и последовательности операторов сборки и подсборки редуктора $П_3$ — вала выходного.

Модель $S(T)_{П_3}$ состоит из матрицы состава контуров $[T \times F(T)]$, где $F(T) = \{F_1, ..., F_6\}$, а $T = \{\tau_1, ..., \tau_4\}$ и условий предшествования и следования технологических операторов вида (2.32) и (2.33). Состав и содержание условий предшествования и следования определяются на основе ограничений по базированию и доступу, заданных в исходных данных.

Матрица состава контуров $[T \times F(T)]$ — конъюнктивная. Взаимосвязь между технологическими операторами — элементами модели $S(T)_{П_3}$ — определяется условиями предшествования и следования.

П 4.4.32. Входными данными для получения проектного решения являются множества векторов-строк, описывающих состав контуров деталей подсборки (рис. П 4.14, *а*), и ограничения по базированию и доступу (рис. П 4.14, *б*).

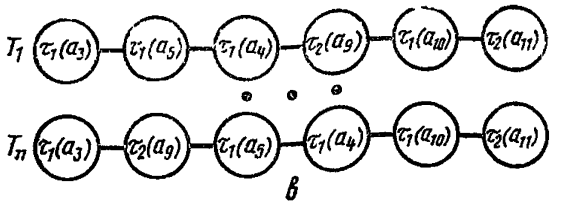
П 4.4.33. Выходными данными являются варианты перестановок из технологических операторов (рис. П 4.15, *в*), удовлетворяющие условиям предшествования и следования (рис. П 4.15, *б*).

		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
Установить	τ_1	●					●
Нагреть и установить	τ_2	●			●		
Вставить и завернуть	τ_3		●			●	●
Выполнить соединение	τ_4			●	●	●	●

а

Обозначение технологической операции	*B*	*D*
$\tau_1(a_3)$	1	$\tau_2(a_9) \wedge (\tau_1(a_4) \vee \tau_1(a_{10}) \vee \tau_2(a_{11})$
$\tau_1(a_4)$	$\tau_1(a_3) \wedge \tau_1(a_5)$	$\tau_1(a_3) \wedge (\tau_1(a_{10}) \wedge \tau_2(a_{11})$
$\tau_1(a_5)$	$\tau_1(a_3)$	$\tau_1(a_4)$
$\tau_2(a_9)$	$\tau_1(a_3)$	0
$\tau_1(a_{10})$	$\tau_1(a_3) \wedge \tau(a_4)$	$\tau_1(a_3) \wedge \tau_2(a_{11})$
$\tau_2(a_{11})$	$\tau_1(a_3) \wedge \tau_1(a_{10})$	0

б



в

Рис. П 4.15. Перестановочная модель определения состава и последовательности технологических операторов:

а—матрица контуров; *б*—условия предшествования и следования; *в*—варианты технологических процессов

П 4.4.34. Алгоритм получения проектного решения по модели $S(T)_{\Pi_5}$ — типовой алгоритм обработки перестановочных моделей. Он основан на построении перестановок в лексикографическом порядке и оценке построенных перестановок по условиям предшествования и следования. В алгоритме предусмотрен пропуск целых массивов перестановок по результатам оценки предыдущей перестановки, что позволяет ускорить процесс принятия решения [6].

П 4.4.40. Для выбора состава операторов и средств оснащения сборочных работ может применяться сетевая математическая модель производственной системы. Сетевая модель позволяет моделировать технологические процессы сборки с операциями, различающимися вариантами средств оснащения, применяемых для их выполнения. Для выбора одного оптимального состава средств оснащения или нескольких, наиболее рациональных, структурная модель производственной системы должна быть объединена с количественной моделью, позволяющей выполнить оценку технико-экономических показателей различных вариантов. Объединение необходимо выполнить с помощью межмодельных связей, обеспечивающих информационную взаимосвязь и совместимость структурной и количественной моделей.

П 4.4.41. Математическая модель $S(P)$, представленная на рис. П 4.16, относится к классу S_3 сетевых математических моделей. Она предназначена для выбора варианта состава средств оснащения для выполнения операций сборочных работ. Для организации межмодельных связей структурной и количественной модели применены табличные модели рассылки формул расчета технико-экономических показателей.

Математическая модель $S(P)$ состоит из матрицы состава контуров $[P+F(P)]$ (рис. П 4.16, *а*) и графа взаимосвязи элементов модели $G=(P, C)$ (рис. П 4.16, *б*). Контуры $F(P)$ характеризуют конструктивно-технологические свойства элементов конструкции сборочной единицы $F=(F_1, F_2, ..., F_m)$. Они подразделяются на следующие группы: способ базирования; точность; контуры под соединение; способ образования контура под соединение; вид соединительного элемента; интервалы параметров деталей, соединений и сборочной единицы. К материальным элементам производственной системы, включенным в модель $S(P)$, относятся средства оснащения, а именно: оборудование, инструмент и приспособления. Граф взаимосвязи $G=(P, C)$, представленный в виде квадратной матрицы смежности вершин, описывает взаимную применяемость технологических операторов и средств оснащения.

Матрица состава контуров $[P\times F(P)]$ — конъюнктивная. Она характеризует применяемость средств оснащения для реализации контуров изделия. Строка, соответствующая какому-либо элементу производственной системы, описывает его технологические возможности. Столбец матрицы отражает возможности применения средств оснащения для реализации соответствующего ему контура изделия.

Взаимосвязь между технологическими операторами и элементами производственной системы задана с помощью графа взаимосвязи $G=(P, C)$. Граф взаимосвязи — ранжированный, без циклов, т. е. сеть с фиктивной начальной вершиной и висячими конечными. В сети выделены следующие уровни: уровень операторов, уровень оборудования, уровень инструмента, уровень приспособлений. Разрешены связи между вершинами соседних уровней. Связи между вершинами внутри уровней запрещены. Множество вершин разных уровней от фиктивной — начальной до висячей — конечной, объединенных существующими связями, является путем μ_i в графе $G=(P, C)$.

П 4.4.42. Входными данными для получения проектного решения является множество векторов-строк $F(A)$, характеризующих состав контуров деталей и соединений собираемого изделия. Каждая из векторов-строк дополнена набором параметров деталей и соединений, необходимых для расчета технико-экономических показателей выбираемых вариантов составов средств оснащения.

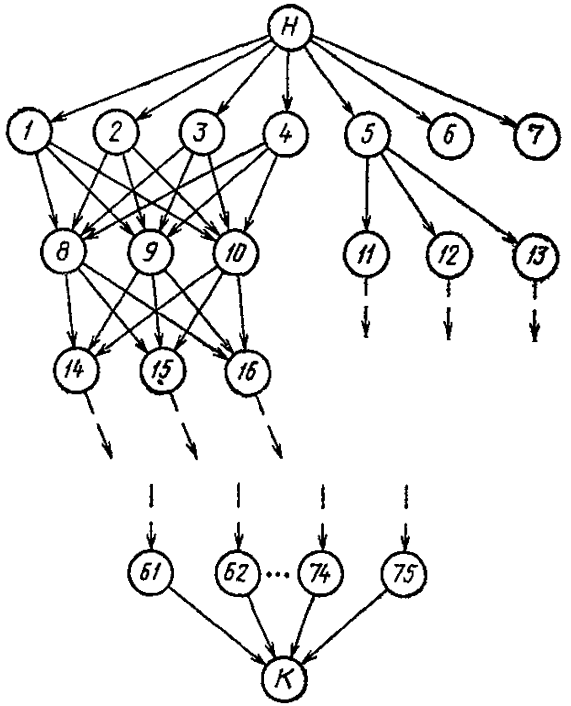
П 4.4.43. Выходными данными для $S(P)$ являются варианты составов средств оснащения P_i^k, ..., P_n^k для каждого из элементов изделия, представленного в исходных данных вектором-строкой $F(a_k)$. Для включения варианта состава средств оснащения P_i^k для заданного элемента изделия $F(a_k)$ в

Операции и переходы		Способы базирования						Точность сборки						Оснастка			Контуры соединения																		
		По разметке	По месту	По СО	По БЭСП		Разметка, БЭСП	$\Delta \leq 1{,}0$	$1{,}0 < \Delta \leq 1{,}5$	$1{,}5 < \Delta \leq 2{,}0$	$2{,}0 < \Delta \leq 2{,}5$	$2{,}5 < \Delta \leq 3{,}0$	$3{,}0 < \Delta$	Верстак, козелки	Сборочное приспособление	Приспособление для склеивания	Отверстие	Отверстие и гнездо	Отверстие и резьба	Вручную	Механически	H6 квалитет	H7, H8 квалитет	H9, H10 квалитет	H11 квалитет	H12 квалитет	По разметке	По кондуктору	Поверхность под сварку	Кромки под сварку	Поверхность под клей	Болт	Гайка	Шпилька	
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{25}	F_{26}	F_{27}	F_{28}	F_{29}	F_{30}	F_{31}	F_{32}	F_{33}	
		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Взять, установить базовую деталь	τ_1													●																				
Взять, разметить, установить деталь по разметке	τ_2	●				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●																		
Установить и зафиксировать по СО	τ_3			●		●		●	●	●	●	●	●	●	●	●																		
Зафиксировать деталь по месту	τ_4		●					●	●	●	●	●	●	●	●	●																		
Разметить отверстия	τ_5																●																	
Сверлить отверстия по разметке	τ_6																●			●						●	●							
Сверлить и зенкеровать отверстия	τ_7																●			●	●				●		●	●						
Развертывать отверстия	τ_8																●			●	●		●	●				●						
Зенковать гнезда	τ_9																	●		●	●							●						
Сверлить отверстия	τ_{10}																●			●	●					●	●	●						
Зенковать гнезда под головку	τ_{11}																	●		●	●													
Сверлить и развертывать отверстия	τ_{12}																●			●	●		●	●				●						
Нарезать резьбу	τ_{13}																	●	●	●	●						●							
Зенковать гнездо и нарезать резьбу	τ_{14}																	●	●								●							
Разобрать	τ_{15}																			●									●	●	●			
Очистить детали от стружки	τ_{16}																												●	●	●			
Зачистить кромки деталей	τ_{17}																													●	●			
Травить поверхности деталей	τ_{18}																												●		●			
Нанести клей	τ_{19}																														●			

Оборудование	Автоматическая сварочная головка	τ_{36}													
	Вертикальный сверлильный станок	τ_{37}													
	Радиальный сверлильный станок	τ_{38}													
	Сварочный агрегат СПА-20	τ_{39}													
	Пневмодрель типа СМ	τ_{40}													

Инструмент	Струбцины	τ_{50}	●	●											
	Разметочный инструмент	τ_{51}	●				●								
	Ключ и технологические болты	τ_{52}			●		●								
	Сверло	τ_{53}													

а



б

| Номер формулы | Элемент производственной системы | | |

Номер формулы	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}
1	0,72	0,72	0,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,63	0,63	0,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,72	0,72	0,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,66	0,66	0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0,79	1	0,54	0	1,2	1	0	0	0,35	0,4
6	0	0	0	0,79	1	0,54	0	1,2	1	0	0	0,55	0,4
...	...	...	...	...	...	...	...	...	....	...	...	...	...
37	0,64	0,64	0,64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0,87	0,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	1	0	0	0	0	0,46	0	0	0	0	0
40	0,83	0,83	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

г

Номер формулы	$A_т$
1	$0{,}47\times10^{-9}$
2	$0{,}11\times10^{-9}$
3	$0{,}41\times10^{-9}$
4	$0{,}67\times10^{-9}$
5	$0{,}74\times10^{-9}$
6	$0{,}21\times10^{-9}$
7	$0{,}83\times10^{-8}$
8	$0{,}62\times10^{-7}$
9	$0{,}79\times10^{-7}$
10	$0{,}42\times10^{-1}$
11	$0{,}34\times10^{-9}$
...	. . . . .
39	$0{,}45\times10^{-6}$
40	0

д

Рис. П 4.16:

а—матрица контуров; *б*—граф связи элементов производственной системы; *в*—матрица связи элементов производственной системы с формулами расчета трудоемкости; *г*—таблица показателей степеней формул; *д*—таблица коэффициентов пропорциональности

проектное решение $F(P_i^k)$ необходимо выполнение условия $F(a_k) \subseteq F(P_i^k)$.

Состав контуров проектного решения $F(P_i^k) = F(\mu_i)$, где $\mu_i = (\tau_i, \tau_j^1, \pi_k^2, \pi_l^3, \pi_n^4)$ (верхний индекс оператора или элемента производственной системы указывает на его принадлежность определенному уровню). По конъюнктивной матрице состава контуров состав контуров пути μ_i, построенного в графе $G = (P, C)$, вычисляется логическим умножением:

$$F(\mu_i) = F(\tau_1) \wedge F(\tau_j^1) \wedge F(\pi_k^2) \wedge F(\pi_l^3) \wedge F(\pi_n^4).$$

П 4.4.44. Алгоритм получения проектного решения по модели $S(P)$ является типовым алгоритмом обработки сетевых моделей класса S_3. Получение проектного решения по этому алгоритму выполняется в следующей последовательности:

в графе связи $G = (P, C)$ строится путь μ_i;

определяется состав контуров $F(\mu_i)$ построенного пути μ_i:

выполняется сравнение $F(a_k)$ с $F(\mu_i)$.

При выполнении условия $F(a_k) \subseteq F(\mu_i)$ путь μ_i запоминается и включается в проектное решение.

Обработка модели по данному алгоритму завершается при определении всех возможных вариантов составов средств оснащения. Процесс принятия решения сопровождается соответствующей диагностикой. Оптимизация проектного решения выполняется на основе технико-экономических показателей, рассчитанных по количественным моделям.

П 4.5. Типовые структурные модели проектирования оснастки

П 4.5.1. Состав задач проектирования оснастки

П 4.5.10. Для различных классов технологической оснастки (станочных приспособлений, штампов, сборочных приспособлений и т. д.) в силу их специфики состав задач проектирования и методы их решения могут отличаться. Однако при укрупненном рассмотрении можно выделить задачи, общие для различных классов оснастки:

1. Задачи структурного проектирования:

выбор состава элементов оснастки;

выбор взаимосвязи элементов оснастки;

выбор типов и типоразмеров конструктивных элементов;

(формирование спецификаций)

2. Задачи геометрического проектирования:

выбор базовых осей;

определение размерных характеристик;

синтез размерных цепей;

компоновка элементов в пространстве;

вычерчивание эскизов и чертежей.

2. Расчетные задачи:

расчет оснастки на жесткость, прочность, точность, виброустойчивость, износ и т. д.;

расчет экономических показателей.

П 4.5.11. При решении задач проектирования технологической оснастки необходимо учитывать ряд требований, предъявляемых к оснастке в целом и к ее отдельным элементам. Эти требования регламентируются техническими, эргономическими, эстетическими и экономическими показателями, а также показателями стандартизации и нормализации оснастки. К основным требованиям, предъявляемым к оснастке, относятся: обеспечение заданной точности, производительности, ремонтоспособности, удобства и безопасности работы, экономической эффективности и т. д.

П 4.5.12. Для решения задач структурного проектирования могут использоваться типовые модели технологического проектирования.

П 4.5.2. Математические модели проектирования оснастки.

П 4.5.20. Структура математических моделей для проектирования станочных приспособлений, штампов и сборочных приспособлений одинакова. Мате-

матические модели проектирования оснастки являются сетевыми. В их состав входят: матрицы состава контуров $F(П)=[F\times B]$, где $\{F\}$ — множество контуров оснастки, $\{B\}$ — множество конструктивных элементов оснастки и граф сопряжений элементов оснастки $G=(B, C)$.

П 4.5.21. Матрица состава контуров — конъюнктивная. Состав контуров, которые могут быть реализованы в оснастке, определяется как конъюнкция состава контуров элементов оснастки, входящих в конструктивную схему, т. е.

$$F(П)=\bigwedge_{i=1}^{N} F(b_i). \qquad (П\ 4.1)$$

Граф $G=(B, C)$ описывает все возможные связи между элементами оснастки.

П 4.5.22. Исходными данными для проектирования структурной схемы оснастки является вектор состава контуров оснастки $F(B)\subseteq F(П)$.

Результатом проектирования являются возможные варианты конструктивных схем оснастки, для которых выполняется условие включения $F(B_k)\supseteq F(B)$.

П 4.5.23. Определение конструктивной схемы приспособления осуществляется в следующем порядке:

1. В графе $G=(B, C)$ выделяются исходные и конечные вершины.
2. Ребра графа $G=(B, C)$ заменяются дугами, направленными от исходных вершин к конечным.
3. В сформированной сети определяются все возможные пути, соединяющие начальные и конечные вершины.
4. По формуле (4.1) определяется состав контуров $F(B_k)$, которые могут быть реализованы в оснастке набором элементов B_k.
5. Проверяется условие $F(B_k)\supseteq F(B)$. Если условие выполняется, набор элементов B_k включается в конструктивную схему.
6. Из наборов элементов B_k формируется сочетание C_j, состав контуров которого определяется как $F(C_j)=\bigvee_{k=1}^{N} F(B_k)$.
7. Проверяется условие полноты реализации контуров в оснастке $F(C_j)\subseteq F(B)$. Если это условие выполняется, то определяют полный состав элементов конструктивной схемы оснастки.
8. Если условие не выполняется, из наборов элементов формируется следующее сочетание C_{j+1}.

Проектирование конструктивной схемы оснастки может завершаться после нахождения первой конструктивной схемы либо продолжаться до сформирования всех возможных схем.

П 4.5.3. Модель проектирования станочного приспособления

П 4.5.30. Модель предназначена для проектирования конструктивных схем станочных приспособлений для детали (рис. П 4.17).

П 4.5.31. В число контуров модели (рис. П 4.18) включены:

F_1 — контур сопряжения с установочными элементами станка (планшайбой);
F_2 — контур основной базы;
F_3 — контур направляющей базы;
F_4 — контур опорной базы;
F_5 — контур баланса;
F_6 — контур защитных элементов.

Основными конструктивными элементами, включенными в модель, являются:

P_1 — диск;
P_2 — кронштейн *А*;
P_3 — кронштейн *Б*;
P_4 — втулка;
P_5 — прихват *А*;
P_6 — прихват *Б*;
P_7 — палец;
P_8 — призма;

P_9 — противовес A;
P_{10} — противовес $Б$;
P_{11} — кожух;
P_{12} — сетка.

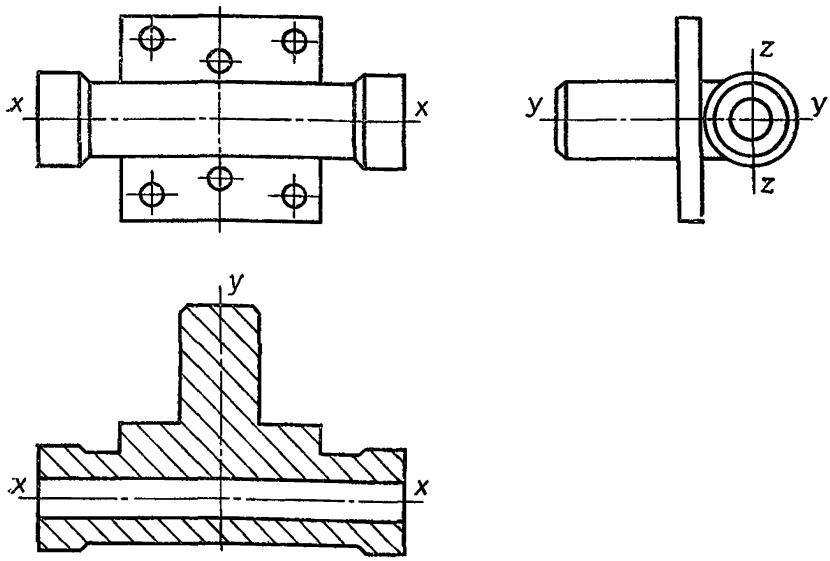


Рис. П 4.17. Деталь

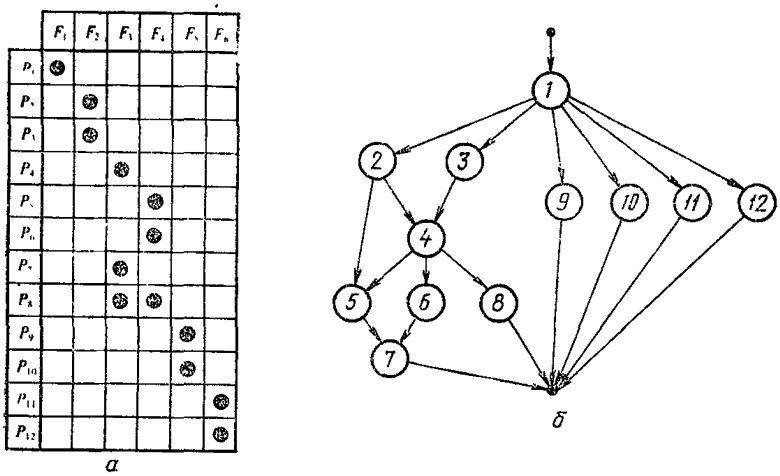


Рис. П 4.18. Сетевая модель проектирования станочного приспособления:

а—матрица контуров; *б*—граф сопряжений элементов приспособления

Конструктивный элемент может быть монолитным или состоять из нескольких деталей. Например, прихват состоит из прижимной планки, опоры, шпильки, гайки, шайбы.

П 4.5.32. Пример. Пусть вектор исходных данных равен $F(B)=11111$. Возможные наборы и вектора их контуров приведены в табл. П 4.1. Для сочетания $C_1=(B_1, B_4, B_5)$ реализованы все контура, поэтому оно может быть возможной конструктивной схемой станочного приспособления. Кроме него

проектные решения могут быть получены из сочетаний $C_2=(B_3, B_4, B_7)$, $C_3=(B_1, B_4, B_7)$, $C_4=(B_2, B_6, B_5)$. Графы структурных схем станочных приспособлений приведены на рис. П 4.19.

Таблица П 4.1

Возможные пути и векторы контуров

Путь	Состав свойств, реализуемых путем
$\mu_1=(1,2,5,7)$	$F(\mu_1)=(111100)$
$\mu_2=(1,2,4,5,7)$	$F(\mu_2)=(111100)$
$\mu_3=(1,3,4,8)$	$F(\mu_3)=(111100)$
$\mu_4=(1,9)$	$F(\mu_4)=(100010)$
$\mu_5=(1,11)$	$F(\mu_5)=(100001)$
$\mu_6=(1,10)$	$F(\mu_6)=(100010)$
$\mu_7=(1,12)$	$F(\mu_7)=(100001)$

П 4.5.4. Модель проектирования штампа

П 4.5.40. Модель предназначена для проектирования конструктивных схем вырубных штампов. Проектные решения, получаемые по модели (рис. П 4.20), могут отличаться составом элементов и их конструктивным исполнением.

П 4.5.41. В состав контуров модели включены:

F_1 — рабочий контур;

F_2 — направляющий контур;

F_3 — контур съема детали.

В состав элементов модели вошло двенадцать типовых конструктивных элементов вырубных штампов. Граф сопряжений элементов штампа (рис. П 4.20, *б*) отражает существование различных конструктивных схем.

П 4.5.42. На рис. П 4.20, *в* показана конструктивная схема вырубного штампа, полученная по модели и состоящая из девяти элементов.

П 4.5.5. Модель проектирования сборочного приспособления

П 4.5.50. Модель предназначена для проектирования конструктивных схем приспособлений для сборки ферменной конструкции (рис. П 4.21). Конструктивная схема сборочного приспособления рассматривает состав и взаимосвязь его элементов с учетом обеспечения реализации свойств изделия и свойств самого приспособления, определяющих условия их использования. Назначение сборочного приспособления заключается в обеспечении определенности базирования устанавливаемых элементов изделия при соблюдении таких требований, как обеспечение условий доступа, использования встроенного оборудования, выполнения правил техники безопасности и т. д.

П 4.5.51. Состав контуров $F(П)$ модели (рис. П 4.22) включает в себя контуры собираемого изделия и его элементов $F(A)$, а также собственные контура приспособления. Так к контурам собираемого изделия относятся:

F_1 — контур формы;

F_2 — контур сопряжения элементов;

F_3 — контур стыковых отверстий;

F_4 — контур плоскости стыка.

К собственным контурам приспособления относятся:

F_5 — контур установки сварочного оборудования;

F_6 — контур установки сверлильного оборудования.

В состав элементов модели входит десять конструктивных элементов сборочных приспособлений, а также узлы сварочного и сверлильного оборудования

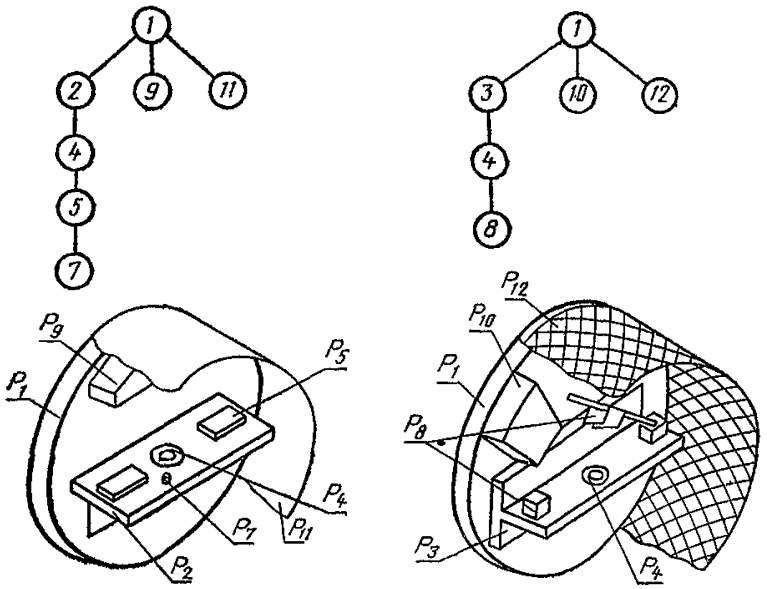
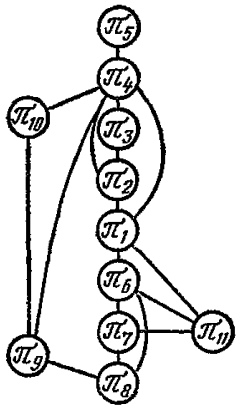


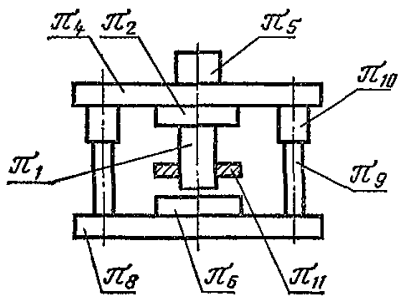
Рис. П 4.19.

		Рабочий контур	Направляющий контур	Контур съема детали
		F_1	F_2	F_3
Пуансон	Π'_1	●		●
Пуансонодержатель	Π'_2	●		
Подкладной лист	Π'_3	●		
Верхняя плита	Π'_4	●	●	
Хвостовик	Π'_5	●		
Матрица	Π'_6	●		●
Матрицедержатель	Π'_7	●		●
Нижняя плита	Π'_8	●	●	
Колонка направляющая	Π'_9		●	
Втулка	Π'_{10}		●	
Съемник	Π'_{11}			●

а



б



в

Рис. П 4.20. Модель функциональных элементов вырубного штампа:

а—матрица контуров; *б*—граф сопряжений элементов штампа; *в*—конструктивная схема штампа

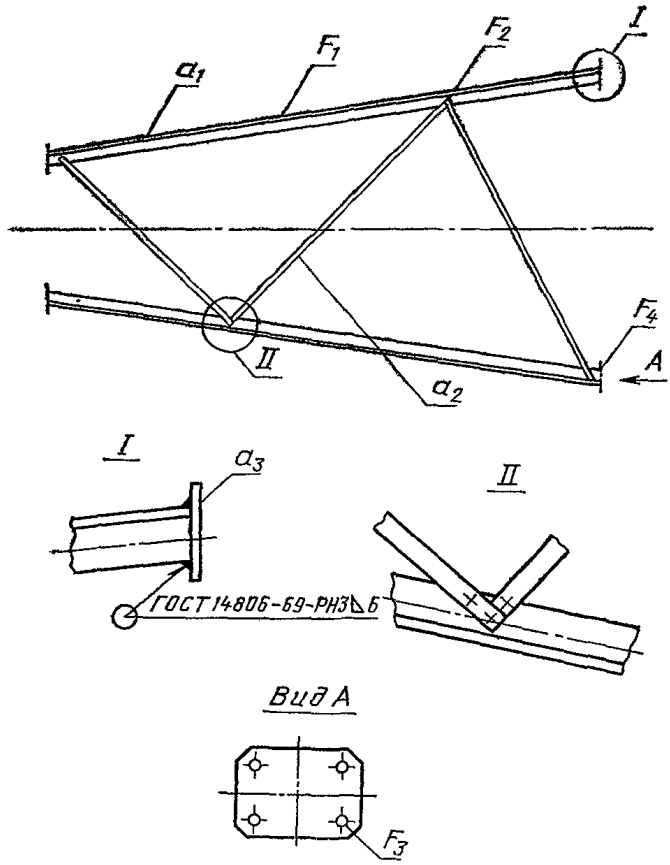
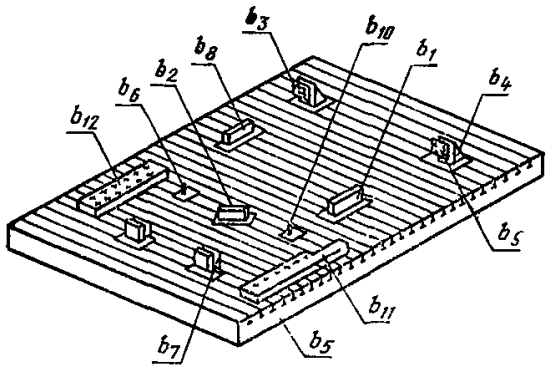


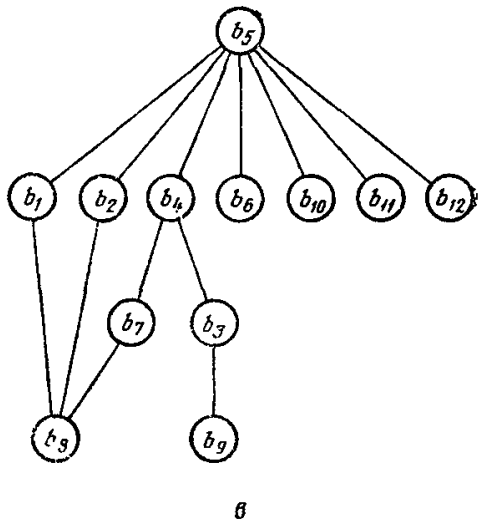
Рис. П 4.21. Схема балки



а

		Контур формы	Контур сопряжения	Контур стык. отв.	Контур плоскости стыка	Контур сварочн. обор.	Контур сверл. обор.
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
Упор	b_1	●					
Упор	b_2		●				
Плита стыка	b_3			●			
Опора	b_4			●			
Основание	b_5	●	●	●	●	●	●
Фиксатор	b_6	●					
Упор	b_7				●		
Прижим	b_8	●	●		●		
Штифт	b_9			●			
Фиксатор	b_{10}		●				
Узел сварочного оборудования	b_{11}					●	
Узел сверлильного оборудования	b_{12}						●

б



в

Рис. П 4.22. Структурная модель сборочного приспособления:

а—типовые элементы приспособления; *б*—матрица контуров; *в*—граф сопряжений элементов приспособления

П5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЯ САПР

П 5.1. Математические модели процесса проектирования

П 5.1.10. Процесс проектирования моделируется в иерархической системе моделирования ИСТРА аналогично другим объектам проектирования.

П 5.1.11. Для моделирования процесса проектирования используются типовые математические модели. Структурными элементами математических моделей являются проектные процедуры и операции, представленные в виде модулей программного обеспечения. Каждый из модулей соответствует определенной процедуре или операции процесса проектирования.

П 5.1.12. Структурные связи между элементами определяются на основе анализа возможных последовательностей выполнения проектных процедур и операций, а также информационных потоков и описываются в соответствии с правилами построения применяемой типовой математической модели.

П 5.1.13. Математическая модель процесса проектирования предназначена для определения структуры модульной системы программного обеспечения получения проектного решения и позволяет формировать пакеты прикладных программ.

П 5.1.14. Входом математической модели процесса проектирования являются контуры, характеризующие предметную область, объект и процесс проектирования, а выходом — конкретная структура модульной системы программного обеспечения или пакета прикладных программ для получения проектного решения.

П 5.1.20. Класс типовой математической модели, применяемой для моделирования процесса проектирования, определяется с учетом особенностей модульной системы программного обеспечения. Основой для выбора класса модели являются возможные последовательности работы программных модулей и их информационная взаимосвязь.

П 5.1.21. При существовании только одной возможной последовательности функционирования модулей и отсутствием альтернативных вариантов модулей целесообразно применять табличные модели.

П 5.1.22. Если проектное решение можно получить, используя различные варианты состава и последовательности модулей, что обеспечивается альтернативным программным обеспечением и разрешимыми информационными связями, то для моделирования процесса проектирования целесообразно применять сетевые математические модели.

П 5.1.23. Для выбора рационального варианта структуры модульной системы программного обеспечения или пакета прикладных программ структурные модели процесса проектирования дополняются количественными моделями. Количественные модели позволяют рассчитать технико-экономические показатели вариантов процесса проектирования. Выбор рационального варианта выполняется на основании сравнения расчетных технико-экономических показателей с учетом заданных критериев.

П 5.1.30. Сетевая математическая модель процесса проектирования включает: матрицу состава контуров $F(M)=[F\times M]$, граф связи модулей системы программного обеспечения $G=(M, C)$, количественную модель для расчета технико-экономических показателей процесса проектирования.

П 5.1.32. Матрица состава контуров $F(M)=[F\times M]$ (рис. П 5.1, П 5.2) — смешанная. На рис. П 5.1 представлена дизъюнктивная часть матрицы состава контуров $F'(M')=[F'\times M']$ для специализированных модулей, а на рис. П. 5.2 представлена конъюнктивная часть матрицы состава контуров $F''(M)=[F''\times M]$. Назначение и идентификаторы модулей $M=\{m_1, ..., m_i, ...,$

$m_n\}$, являющихся структурными элементами модели, приведены в табл. П 5.1* Входы модели и их обозначение $F=(F_1, ..., F_j, ..., F_m)$ приведены в табл. П 5.2*.

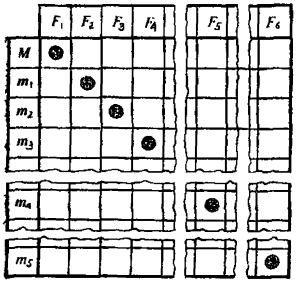


Рис. П 5.1. Дизъюнктивная часть матрицы контуров

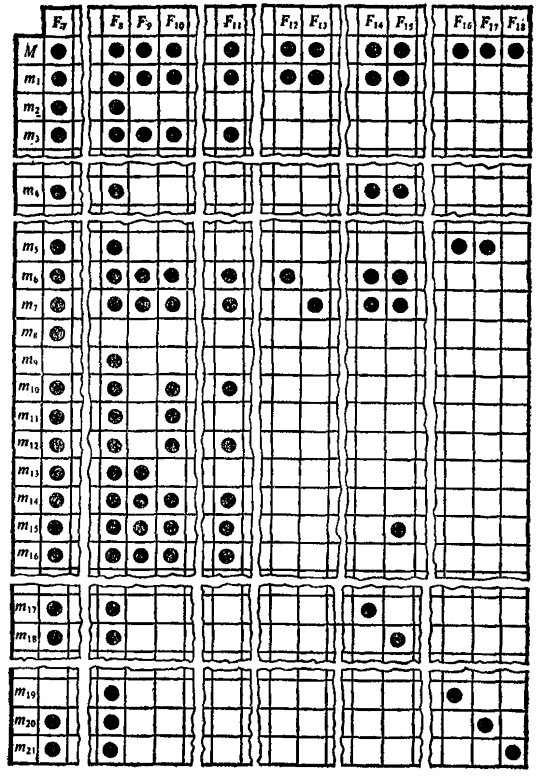


Рис. П 5.2. Конъюнктивная часть матрицы контуров

П 5.1.33. Взаимосвязь между модулями $M=\{m_1, ..., m_i, ..., m_n\}$ задана графом взаимосвязи $G=(M, C)$, представленным в матричной форме (рис. П 5.3).

П 5.1.34. Количественная модель для расчета технико-экономических показателей процесса проектирования приведена на рис. П 5.4.

П 5.1.35. Дизъюнктивная матрица контуров описывает функциональное назначение специализированных модулей и включает соответствия состава задач технологического проектирования (входы) конкретным модулям программного обеспечения. Конъюнктивная матрица контуров описывает возможности применения модулей в зависимости от заданных характеристик процесса проектирования и используемых математических моделей.

П 5.1.36. Граф взаимосвязи модулей, построенный на основе анализа входов и выходов модулей и информационных связей, позволяет установить входимость и возможные состав и последовательности включения модулей в процесс проектирования.

---

* Для сокращения объема информации из реальной модели исключены однотипные части. Места удалений обозначены линией разрыва. Для упрощения изложения в обозначениях модулей и контуров нумерация проведена подряд без учета разрывов.

Таблица П 5.1

Ур.	Назначение модуля	Идентификоп	Об.
Монитор	Организация процесса проектирования	MONIPR	M
Специализированные	Ведение банка моделей производственной системы	BAMOPS	m_1
	Ведение банка данных	BAMOIZ	m_2
	Проектирование операций технологических процессов	WAROPT	m_3
	Расчет технико-экономических показателей	PASTEP	m_4
	Формирование и печать технологических документов	FORDOK	m_5
Унифицированные	Ввод модели производственной системы с перфокарт	WMOKAR	m_6
	Ввод модели производственной системы с магнитной ленты	WMOLEN	m_7
	Ввод исходных данных о монолитных элементах	WIDMON	m_8
	Ввод исходных данных о сборочных единицах	WIDSED	m_9
	Подготовка графа связи (усечение модели)	POGRAF	m_{10}
	Построение путей в графах фиксированной длины	PUTIS1	m_{11}
	Построение путей в графах нефиксированной длины	PUTIS2	m_{12}
	Построение выборок из декартова произвед. множеств	SOPOST	m_{13}
	Вычисление информационного вектора пути	WEKON	m_{14}
	Сравнение информационных векторов	SINWEK	m_{15}
	Диагностика процесса проектирования	DIAPRO	m_{16}
	Расчет т.-э. показателей по таблицам	TEPTAB	m_{17}
	Расчет т.-э. показателей по формулам	TEPFOR	m_{18}
	Печать технологического паспорта	TEPASP	m_{19}
	Печать маршрутных карт	MARKAR	m_{20}
	Печать операционных карт	OPEKAR	m_{21}

Таблица П 5.2

Об.	Содержание входных контуров и параметров		
F_1	Организация и управление процессом проектирования		Состав задач процесса проектирования
F_2	Ввод модели производственной системы		
F_3	Ввод модели изделия (исходных данных)		
F_4	Проектирование вариантов операций техпроцессов		
F_5	Расчет технико-экономических показателей		
F_6	Формирование и печать технологических документов		
F_7	Механическая обработка		Вид произв. работ
F_8	Сборочные работы		
F_9	S_1 (табличная модель)	Класс МПС	Модель производственной системы (МПС)
F_{10}	S_2 (сетевая модель фиксированной длины)		
F_{11}	S_5 (сетевая модель нефиксированной длины)		
F_{12}	Перфокарты	Носитель	
F_{13}	Магнитная лента		
F_{14}	Таблицы	Нормативы	
F_{15}	Формулы		
F_{16}	Технологический паспорт		Выходные документы
F_{17}	Маршрутная карта		
F_{18}	Операционная карта		

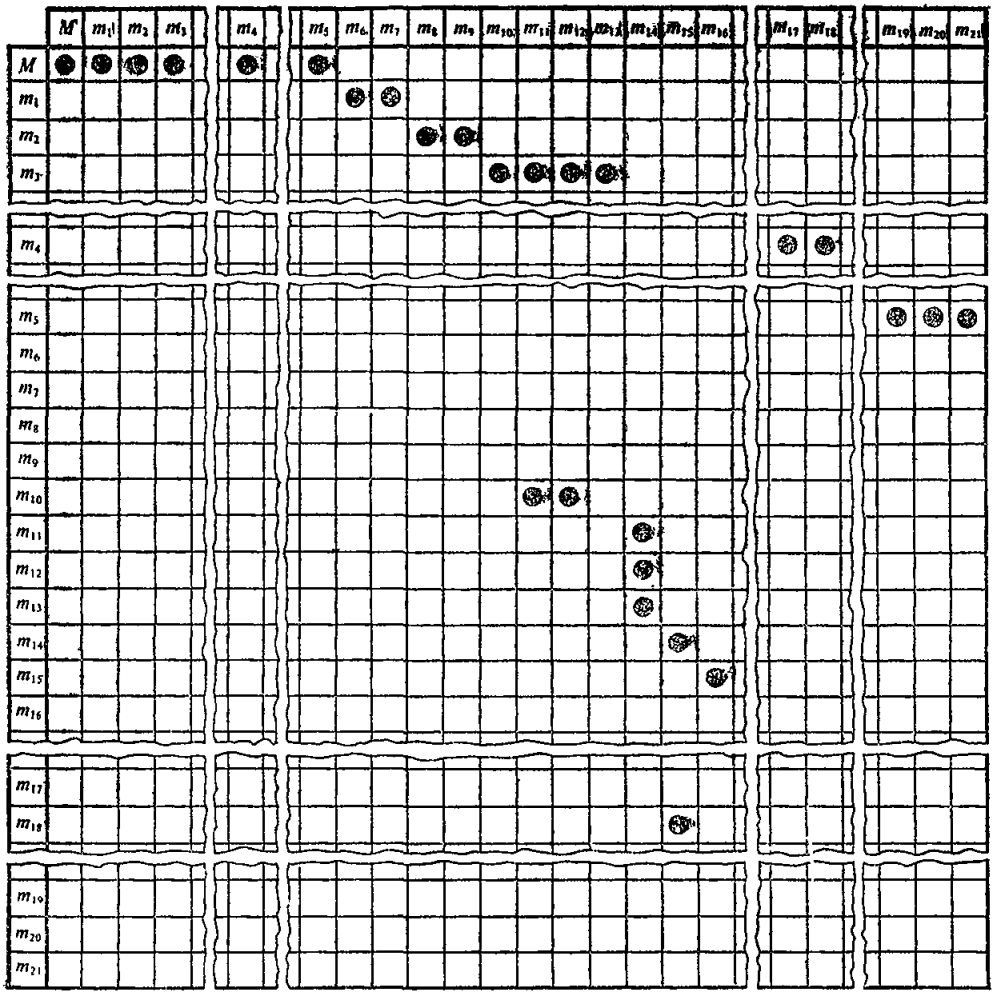


Рис. П 5.3. Граф управления модулей

	Терминалы				Оперативная память	Быстродействие
	Пульт	УВК	АЦПУ	МЛ		
M	●	●	●	●	45	2
m_1		●	●	●	14	90
m_2		●	●		12	48
m_3	●		●		33	
m_4			●	●		
m_5			●			

Рис. П 5.4. Таблицы данных для расчета технико-экономических показателей

П 5.1.37. Для оценки рациональности получаемых структур вариантов процесса проектирования служат данные о видах и количестве терминалов, потребной оперативной памяти и быстродействии модулей, заданные в виде таблиц.

П 5.1.38. Математическая модель модульной системы программного обеспечения, основанная на использовании типовых математических моделей, может быть легко расширена как по составу модулей, так и по составу характеристик и параметров предметной области, процесса проектирования и различных компонентов систем автоматизированного проектирования.

П 5.1.39. Математическая модель модульной системы программного обеспечения (рис. П. 5.1—П. 5.4) построена на базе типовых математических моделей; дизъюнктивная матрица контуров для специализированных модулей — табличная модель класса S_1; конъюнктивная матрица контуров и граф связи— сетевая модель класса S_3; таблицы данных для расчета технико-экономических показателей — количественная модель.

П 5.1.40. Рассмотрим пример определения структуры процесса проектирования по данной модели. Необходимо на вход подать исходные данные, представляющие цель, задачи и характеристики предметной области, объекта проектирования и применяемой математической модели. Исходные данные могут быть подготовлены с использованием различных систем кодирования и формальных языков описания объектов. Со стороны модели к ним предъявляется лишь одно главное требование — должна существовать возможность с помощью несложных преобразований прийти к виду, соответствующему форме представления входов математической модели. Если не пользоваться системами кодирования, то подготовка данных сводится к записи их в виде векторов-строк, соответствующих контурам модели. Для простоты воспользуемся матрицей выделителей (рис. П 5.5), позволяющей из общей записи данных сформировать векторы-строки для задач процесса проектирования.

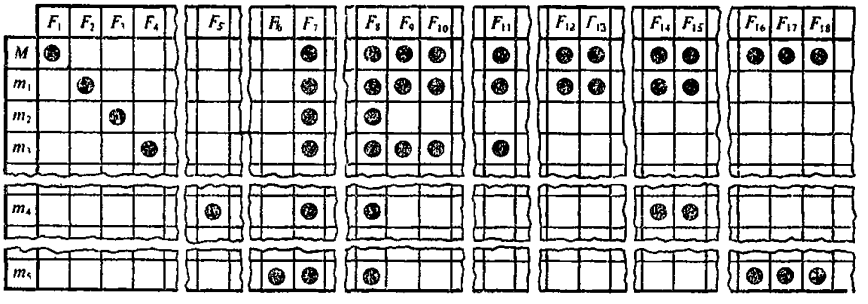


Рис. П 5.5. Матрица выделителей исходных данных

П 5.1.41. Пусть необходимо сформировать структуру процесса проектирования (модульной системы программного обеспечения) для проектирования маршрутных технологических процессов механической обработки. Проектирование должно выполняться под управлением монитора в автоматическом режиме и решать следующие задачи: ввод модели технологической системы, ввод модели изделия (исходные данные о деталях), проектирование вариантов технологических процессов, расчет технико-экономических показателей и печать маршрутных карт технологических процессов. Для проектирования будет использоваться модель технологической системы класса (сетевая, с фиксированной длиной пути), записанная на магнитной ленте, а для расчета технико-экономических показателей — нормативные данные в форме степенных зависимостей.

П 5.1.42. Тогда исходные данные (рис. П 5.6) будут следующие:
общая запись:

$$F^{\text{и}}=F_1,\ F_2,\ F_3,\ F_4,\ F_5,\ F_6,\ F_7,\ F_{10},\ F_{13},\ F_{15},\ F_{17};$$

для задачи:

$$F_1^{\text{и}} \to F_7,\ F_{10},\ F_{13},\ F_{15},\ F_{17};$$

$$F_2^{\text{и}} \to F_7,\ F_{10},\ F_{13},\ F_{15};$$

$$F_3^{\text{и}} \to F_7;$$

$$F_4^{\text{и}} \to F_7,\ F_{10};$$

$$F_5^{\text{и}} \to F_7,\ F_{15};$$

$$F_6^{\text{и}} \to F_7,\ F_{17}.$$

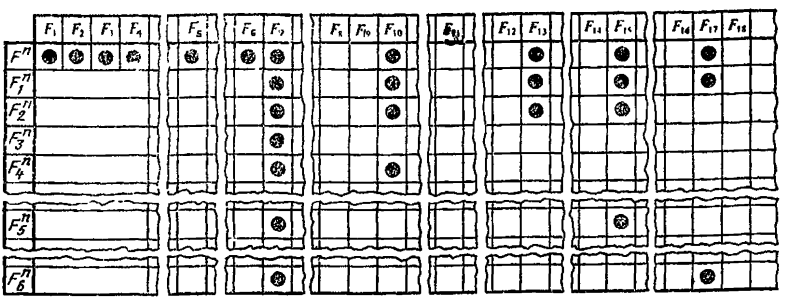


Рис. П 5.6. Исходные данные

П 5.1.43. По дизъюнктивной матрице контуров определим состав и последовательность специализированных модулей для построения процесса проектирования. Дизъюнктивная матрица контуров — модель класса S_1. Воспользуемся алгоритмом работы с дизъюнктивными матрицами контуров табличных моделей:

1. Поочередно, начиная с первой строки, определим операторы m_i, которые дают $F_R = F \wedge F_{mi} \neq \varnothing$, и включим их в M.

Например:

$$F = F_1,\ F_2,\ F_3,\ F_4,\ F_5,\ F_6;$$

$$F_{m_0} = F_1;$$

$$F_R = F_1 \neq \varnothing;\ M = (m_0)$$

$$F_{m_1} = F_2;$$

$$F_R = F \wedge F_{m_1} = F_2 \neq \varnothing,\ M = (m_0,\ m_1)$$

и т. д.

2. Вычислим $F_M = \bigvee_{i=0}^{n} F_{mi}$.

3. Формирование M заканчивается, если выполнено условие $F_M = F$.

П 5.1.44. В результате получим:

$$M = (m_0,\ m_1,\ m_2,\ m_3,\ m_4,\ m_5),$$

$$F_M = \{F_1,\ F_2,\ F_3,\ F_4,\ F_5,\ F_6\} = F,$$

т. е. процесс проектирования должен включать монитор и следующие специализированные модули:

m_1 — BAMOPS — модуль обслуживания банка моделей технологических систем;

m_2 — BAMOIZ — модуль ввода исходных данных об изделий;

m_3 — WAROPT — модуль проектирования вариантов технологических процессов;

m_4 — RASTEP — модуль расчета технико-экономических показателей технических процессов;

m_5 — FORDOK — модуль печати технологических документов.

П 5.1.45. По конъюнктивной матрице контуров и графу связи, представляющих собой модель класса S_3, выполним следующий этап построения структуры процесса проектирования. По алгоритму работы с сетевыми моделями:

1. Вычислим путь μ_t в графе управления $G=(M, C)$. Например:

$$\mu_1=m_0,\ m_1,\ m_6;$$
$$\mu_2=m_0,\ m_1,\ m_7;$$
$$\ldots \qquad \ldots$$
$$\mu_5=m_0,\ m_3,\ m_{10},\ m_{11},\ m_{14},\ m_{15},\ m_{16}$$

и т. д.

2. Вычислим информационный вектор построенного пути по формуле $F_{\mu_l}=\bigwedge_j F^{и}_{m_j}$, где j пробегает значения номеров вершин пути μ_t.

3. Выполним проверку на $F_{\mu_t}\subseteq F^{и}_{j_c}$, где F_{j_c} — вектор контуров исходных данных; j_c — номер специализированного модуля, через который проходит путь μ_t.

4. В случае положительного исхода проверки μ_t запоминается; он является одним из вариантов для реализации $F^{и}_{j_c}$.

5. Выполняется переход к п. 1 (к вычислению очередного пути μ_{t+1}).

П 5.1.46. В результате работы с моделью по данному алгоритму формируется множество вариантов; в частном случае, для рассматриваемой задачи результаты приведены на рис. П 5.7. Объединяя пути $\mu_{t,l}$ по общей верши-

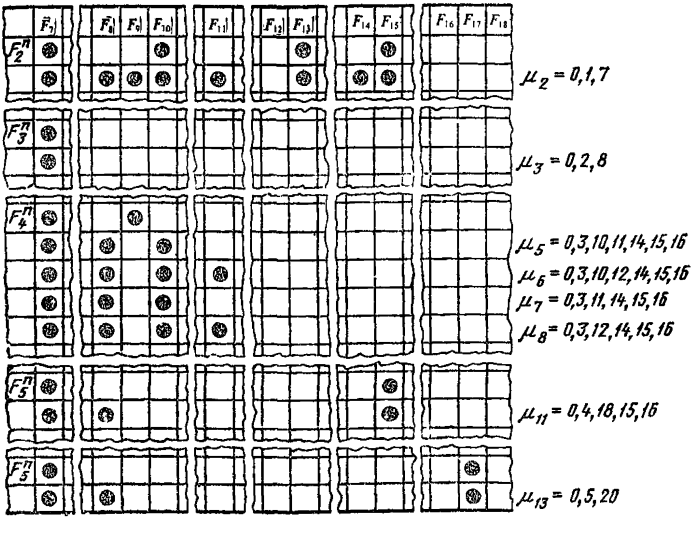


Рис. П 5.7. Результаты проектирования по модели класса S_3

не m_0 и включая в структуру по одному из вариантов для реализации $F^{и}_{lc}$. получим различные варианты структур. Для рассматриваемой задачи получим следующие варианты структур процесса проектирования:

$$P_1=\mu_2,\ \mu_3,\ \mu_5,\ \mu_{11},\ \mu_{13};$$

$$P_2=\mu_2,\ \mu_3,\ \mu_6,\ \mu_{11},\ \mu_{13};$$

$$P_3=\mu_2,\ \mu_3,\ \mu_7,\ \mu_{11},\ \mu_{13};$$

$$P_4=\mu_2,\ \mu_3,\ \mu_8,\ \mu_{11},\ \mu_{13}.$$

П 5.1.47. После расчета технико-экономических показателей различных вариантов структур процесса проектирования в зависимости от заданных критериев можно выбрать рациональный, с точки зрения удовлетворения критерию, процесс проектирования. Например, рациональным по быстродействию будет процесс проектировния P_1, структура которого представлена на рис. П 5.8. Таким образом, моделирование процесса проектирования и работа с математическими моделями выполняется методами, аналогичными методам моделирования технологических процессов.

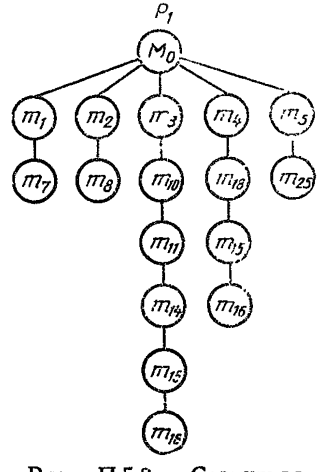


Рис. П 5.8. Структура процесса проектирования

П 5.1.48. Опыт эксплуатации моделей процесса проектирования показал:

1. Количество вариантов структуры процессов проектирования возрастает — с повышением универсальности модулей программного обеспечения,

с включением в состав модульной системы альтернативного программного обеспечения.

2. В качестве критериев оценки рациональности структуры процесса проектирования можно задавать:

для монопрограммных ЭВМ быстродействие при ограничениях по объему оперативной памяти и имеющемуся набору терминалов,

для мультипрограммных ЭВМ функционал от времени работы с терминалами, оперативной памяти и быстродействия.

П. 5.2. Математические модели процесса создания САПР

П 5.2.1. Представим структурную модель S_t (S) САПР, инвариантную к объектам проектирования (ОП) и к процессам создания систем, в виде

$$S_t(S)=\{S, F^S, R\},$$

где $i\in(1, m)$ — множество из m инвариантных к ОП элементов САПР, подлежащих рассмотрению (исследованию, проектированию и вводу в действие) в процессе создания систем; F^S — совокупность свойств элементов множества S; R — отношения на множестве из m элементов САПР.

П 5.2.2. САПР — организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с подразделениями проектной организации (пользователем), и выполняющая автоматизированное проектирование. Основной функцией САПР является выполнение автоматизированного проектирования объектов и их составных частей. В качестве структурной части САПР целесообразно принять функционально законченную часть системы, реализующую некоторую часть процесса проектирования и обеспечивающую получение проектных решений — промежуточных или конечных описаний объектов проектирования и (или) их составных частей.

В качестве такой структурной части САПР может выступать подсистема, реализующая часть функции проектирования. Подсистема включает пользователя и следующие виды обеспечений: математическое (М), лингвистическое (Л), техническое (Т), информационное (И), программное (П), методическое (Ме), организационное (О).

Виды обеспечений системы (подсистем) состоят из компонентов САПР, представляющих собой элементы, выполняющие определенные функции обеспечений в подсистемах САПР.

П 5.2.3. Структурное единство подсистемы обеспечивается связями между компонентами, входящими в подсистемы (рис. П 5.10). Исходя из приведенной концепции построения САПР, можно множество S элементов расчленить на три подмножества, определяющих разные уровни их рассмотрения в процессе создания САПР:

уровень системы в целом — S^{C} ;

уровень подсистем — $S^{П}$;

уровень компонентов — $S^{К}$ по видам обеспечений.

П 5.2.4. Подмножество S^{C} включает элементы, которым поставлено в соответствие семь видов обеспечения системы в целом, структура САПР на уровне подсистем, а также три элемента, соответствующие ОП в САПР, процессу проектирования (ПП) и взаимодействию САПР с внешней средой.

П 5.2.5. Подмножество $S^{П}$ включает элементы, которым поставлено в соответствие семь видов обеспечения подсистем, пользователь и элемент, определяющий структуру подсистем на уровне компонентов.

П 5.2.6. Подмножество $S^{К}$ включает элементы, которым поставлено в соответствие компоненты по семи видам обеспечения.

Таким образом:

$$S=\{S^{C}_{i/i\in(\div 11)},\ S^{П}_{j/j\in(12\div 20)},\ S^{К}_{q/q\in(21\div 27)}\}.$$

П 5.2.7. Все 27 выявленных элементов (табл. П 5.3) присущи любым САПР, созданным для проектирования различных объектов. Все множество S элементов должно обладать свойством F^{S}_{1} — инвариантности к ПП в САПР и свойством F^{S}_{2} — инвариантности к ОП в САПР.

Логическое выражение

$$F^{S}=F^{S}_{1}\wedge F^{S}_{2}$$

определяет общее, образованное конъюнкцией частных свойств, свойство элементов САПР, характеризующее принадлежность элементов к модели, которая может быть использована (ввиду инвариантности ее элементов к ПП и ОП) для стандартизации систем на государственном уровне. Для построения типовой модели САПР на отраслевом уровне необходимо выявить состав подсистем и их взаимодействие, которые, в основном, зависят от отношений между множеством процедур и операций ПП и множеством основных частей конкретного класса ОП.

П 5.2.8. Одним из важнейших отношений на множестве элементов САПР является отношение $R_{C}(S)$-типа «при разработке элемента с номером n используют информацию элемента K». Отношения между всеми элементами S модели $S_{t}(S)$ определяются классом объекта проектирования, сложностью создаваемой системы, ее новизной и др. характеристиками. Однако, исходя из логики формирования элементов, можно установить информационную связь между некоторыми элементами, составляющими структурную модель САПР. Например, при разработке программ и пакетов прикладных программ используют сведения о компонентах математического обеспечения (моделях, алгоритмах); структура системы и подсистем, ПП зависят от ОП и др.

П 5.2.9. В качестве исходных данных для построения структурной модели $S_{t}(S)$ процессов создания САПР выступают компоненты модели САПР как объекта создания.

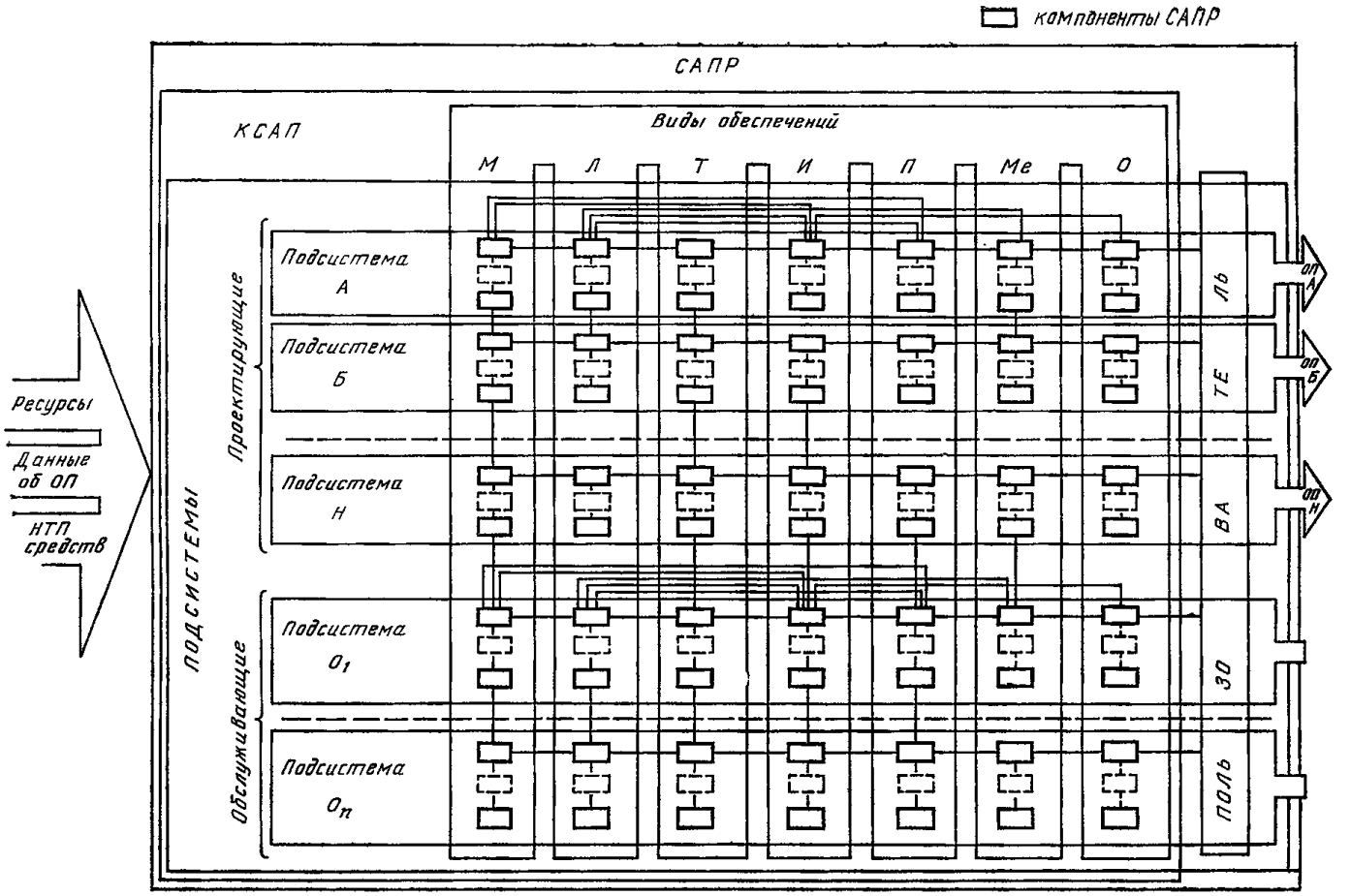

компоненты САПР
САПР
КСАП
Виды обеспечений
М
Л
Т
И
П
Ме
О
ПОДСИСТЕМЫ
Проектирующие
Обслуживающие
Подсистема А
Подсистема Б
Подсистема Н
Подсистема О1
Подсистема Оп
Ресурсы
Данные об ОП
НТП средств
ЛБ
ТЕ
ВА
ЗО
ПОЛЬ
ОП А
ОП Б
ОП Н

Рис. П 5.9

Таблица П 5.3

Состав элементов структурной модели САПР

Уровень рассмотрения	Обозначение	Наименование	Содержание
Система	S_1^C	Взаимодействие с внешней средой	Данные о внешних связях организации. Взаимосвязь САПР с другими системами, функционирующими в организации
	S_2^C	Объект проектирования (ОП)	Состав, структура, принципы построения и действия, технико-экономические показатели объектов проектирования
	S_3^C	Процесс проектирования (ПП)	Состав и взаимосвязь проектных процедур и операций, временные, стоимостные и организационно-технологические показатели
	S_4^C	САПР на уровне подсистем	Структура САПР, состав ее подсистем
	S_5^C	Математическое обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность математического обеспечения САПР
	S_6^C	Лингвистическое обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность лингвистического обеспечения САПР
	S_7^C	Техническое обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность технического обеспечения САПР
	S_8^C	Информационное обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность информационного обеспечения САПР
	S_9^C	Программное обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность программного обеспечения САПР
	S_{10}^C	Методическое обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность методического обеспечения САПР
	S_{11}^C	Организационное обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность организационного обеспечения САПР
Подсистема	$S_{12}^П$	Подсистемы на уровне компонентов	Структура подсистем, состав входящих в нее компонентов

Продолжение табл. П 5.3

Уровень рассмотрения	Обозначение	Наименование	Содержание
Подсистема	$S_{13}^{П}$	Математическое обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность методического обеспечения подсистем
	$S_{14}^{П}$	Лингвистическое обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность лингвистического обеспечения подсистем
	$S_{15}^{П}$	Техническое обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность технического обеспечения подсистем
	$S_{16}^{П}$	Информационное обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность информационного обеспечения подсистем
	$S_{17}^{П}$	Программное обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность программного обеспечения подсистем
	$S_{18}^{П}$	Методическое обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность методического обеспечения подсистем
	$S_{19}^{П}$	Организационное обеспечение	Состав, структура, качество, удобство использования и доступность организационного обеспечения подсистем
	$S_{20}^{П}$	Субъект (пользователь)	Пользователь и служба САПР. Подготовка специалистов-пользователей САПР
Компоненты	$S_{21}^{К}$	Математическое обеспечение	Методы, модели, алгоритмы
	$S_{22}^{К}$	Лингвистическое обеспечение	Языки проектирования, терминология
	$S_{23}^{К}$	Техническое обеспечение	Устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи данных, измерительные и другие устройства
	$S_{24}^{К}$	Информационное обеспечение	Документы, содержащие описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, комплектующих изделий и другие данные, а также файлы и блоки данных на машинных носителях с записью указанных документов

Продолжение табл. П 5.3

Уровень рассмотрения	Обозначение	Наименование	Содержание
Компоненты	$S_{25}^{К}$	Программное обеспечение	Документы с текстами программ, программы на машинных носителях и эксплуатационные документы
	$S_{26}^{К}$	Методическое обеспечение	Документы, в которых отражены состав, правила выбора и эксплуатации средств автоматизации проектирования
	$S_{27}^{К}$	Организационное обеспечение	Положения, инструкции, приказы, штатные расписания и другие документы, регламентирующие организационную структуру подразделений и их взаимодействие с комплексом средств автоматизации проектирования

П 5.2.10. Представим процесс создания САПР Q как процесс составления множества описаний элементов САПР от первичного через ряд промежуточных до конечного. Каждый элемент САПР S_i при реализации процесса переходит от одного описания к другому в результате поэтапного принятия решений.

Сделав предположение, что каждый из 27 элементов $S_i \in S$ модели $S_i(S)$ «проходит» все этапы $Э_{i,j} \in (1 \div n)$ принятия и реализации технических решений в процессе создания САПР, определим теоретическое множество работ как декартово произведение $S \times Э$ или в виде полного покрытия матрицы размерностью $m \times n$

$$Q = \| q_{i(j)} \|_{S,Э} = \begin{matrix} & Э_1 & Э_2 & \dots & Э_n \\ \left[\begin{matrix} q^{IS}_{1(1)} & q^{IS}_{1(2)} & \dots & q^{IS}_{1(n)} \\ q^{IS}_{2(1)} & q^{IS}_{2(2)} & \dots & q^{IS}_{2(n)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ q^{IS}_{m(1)} & q^{IS}_{m(2)} & \dots & q^{IS}_{m(n)} \end{matrix}\right] & \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_m \end{matrix} \end{matrix}, \qquad (П\ 5.1)$$

где $q^{IS}_{i(j)}$ — работа, входящая в теоретическое множество, представляющая собой законченную часть процесса создания САПР, выполнение которой направлено на принятие или реализацию технического решения по созданию определенного элемента S_i САПР; $Э_j$ — типовой этап принятия или реализации решений в процессе создания САПР (ее элементов); $j \in (1 \div n)$, n — число типовых этапов принятия решений; S_i — элемент модели $S_i(S)$ САПР как объекта создания,

$$i \in (1 \div m), \quad m = 27.$$

П 5.2.11. Анализ ряда работ и опыта упорядочения различных видов деятельности при разработке ЕСКД, ЕСТД и ЕСТПП позволяет представить следующую типовую последовательность этапов принятия и реализации решений:

$Э_1$ — выработка концепции об объекте создания (цели, состав, общие свойства и т. п.);

$Э_2$ — сбор и анализ исходных данных об объекте и среде;
$Э_3$ — исследование, прогноз и формирование возможных решений (путей решения);
$Э_4$ — формирование исходных данных, требований и ограничений;
$Э_5$ — формирование допустимых решений и критериев оценки этих решений;
$Э_6$ — оценка допустимых решений и выбор рациональных;
$Э_7$ — принятие предварительных решений;
$Э_8$ — принятие окончательных решений;
$Э_9$ — реализация (исполнение) решений в виде проекта (рабочая документация);
$Э_{10}$ — реализация объекта как изделия, подлежащего изготовлению;
$Э_{11}$ — оценка полученного объекта при функционировании и рекомендации по его развитию.

Приведенная последовательность задает не только состав типовых этапов $Э_j$, $j \in (1 \div 11)$ принятия и реализации решений, но и отношения порядка $R^{Э}_{П} \to Э_1 > Э_2 ... > Э_{11}$ на этом множестве, т. е. структурную модель $S_{Э}(Э) = \{Э, R^{Э}_{П}\}$ принятия и реализации решений в процессе создания САПР. С определением состава и содержания типовых этапов каждый из элементов $q^{S}_{i(j)}$ матрицы (2.1) получает семантическую определенность. Например, содержание элемента $q^{S}_{2(2)}$ определяется как «сбор и анализ исходных данных о существующем ОП и среде его существования»; элемента $q^{S}_{4(4)}$ — «формирование исходных данных, требований и ограничений по структуре САПР на уровне подсистем»; элемента $q^{S}_{9(11)}$ — «оценка качества программного обеспечения при функционировании САПР» и т. д.

П 5.2.12. Полученное теоретическое множество работ было уточнено экспертным методом. В результате уточнения получен состав исходного множества $Q^{S} \in q^{S}_{i(j)}$ технических работ в процессе создания САПР в виде подмножества декартова произведения $[S \times Э]$ или в виде булевой матрицы $\| q^{S}_{i(j)} \|_{SЭ}$ с элементами $q^{S}_{i(j)} = 1$, если соответствующая работа подлежит выполнению, или $q^{S}_{i(j)} = 0$ в противном случае.

П 5.2.13. В процессе создания САПР необходимо осуществить связь между элементами в виде документов, в которых фиксируют результаты выполнения работ. С целью установления указанной связи и управления процессом создания САПР необходимо разбиение его на стадии. Стадия — это структурно-законченная часть процесса создания САПР, которая охватывает совокупность работ, ограниченных двумя смежными моментами времени; характеризует определенное состояние процесса, параметры которого отражают описание или совокупность описаний САПР в целом или ее подсистем; завершается контролем выполнения работ соответствующей стадии.

П 5.2.14. Максимально возможное число стадий процесса создания САПР, определяемое количеством типовых этапов $Э$ принятия и реализации решений, равно одиннадцати. Их минимальное число, определенное числом качественных преобразований информации об объекте создания (знание об объекте создания, проект объекта, реальный функционирующий объект), равно трем. В указанных границах лежит число стадий создания любой конкретной САПР.

П 5.2.15. Построение типовой модели процесса создания САПР, которая представляет упорядоченное во времени множество организационных и технических работ, сгруппированных по стадиям создания систем, дано в методических рекомендациях «САПР. Выбор необходимых стадий создания систем».

П 5.2.16. Переход от типовой модели процесса создания САПР к модели создания конкретной объектно-ориентированной САПР осуществляется путем установления отношений между компонентами типовой модели САПР и множеством функций, выполняемых конкретной САПР. Эти отношения представляются в виде типовых математических моделей системы ИСТРА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении/Под ред. Г. К. Горанского.—М.: Машиностроение, 1976, 240 с.

2. Бусленко В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. — М.: Наука, 1977, 240 с.

3. Жук К. Д., Тимченко А. А. Автоматизированное проектирование логико-динамических систем. — Киев: Наукова думка, 1981, 320 с.

4. Капустян В. М., Махотенко Ю. А. Конструктору о конструировании атомной техники. — М.: Атомиздат, 1981, 190 с.

5. Лысенко Ю. В., Павлов В. В., Хухорев В. С., Шумакова Л. С. Основы автоматизации проектирования технологических процессов изготовления монолитных элементов конструкции летательного аппарата. — М., МФТИ, 1977, 52 с.

6. Павлов В. В. Математическое обеспечение САПР в производстве летательных аппаратов. — М., МФТИ, 1978, 68 с.

7. САПР. Общие принципы разработки математических моделей объектов проектирования. Методические рекомендации. — М., ВНИИНМАШ, 1980, 120 с., ил.

8. Технологичность конструкций. Под ред. С. П. Ананьева и В. П. Купровича. — М.: Машиностроение, 1969, 423 с.

9. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. — Минск: Наука и техника, 1979, 260 с.

10. Шейнин В. М., Козловский В. И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1. — М.: Машиностроение, 1977, 344 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. СОСТАВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 1
2. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В САПР 4
2.1. Назначение и принципы построения иерархической системы математического моделирования объектов в САПР . . . 4
2.2. Моделирование теоретико-множественных, логических и количественных свойств и отношений объектов 6
2.3. Основные виды связей между элементами и контурами объектов 15
3. ТИПОВЫЕ СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ 20
3.1. Типовые структурные модели порождающей среды объектов проектирования 20
3.2. Семантическое содержание и функциональное назначение структурных моделей 30
3.3. Дизъюнктивная и конъюнктивная формы связи контуров проектируемого объекта и модели порождающей среды . . . 32
4. ТИПОВЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ СВОЙСТВ И ОБЪЕКТОВ 37
4.1. Некоторые особенности количественных моделей 37
4.2. Классификация расчетных уравнений 42
4.3. Разработка количественных моделей 48
4.4. Взаимосвязи структурных и количественных моделей . . . 50
5. АДАПТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 52
5.1. Назначение и виды адаптации математических моделей и алгоритмов проектирования 52
5.2. Адаптация типовых математических моделей при изменении производственной системы 52
5.3. Адаптация типовых математических моделей при использовании различных средств вычислительной техники 54
5.4. Адаптация моделей и алгоритмов, созданных в других системах моделирования 55
6. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИСТРА В САПР 57
6.1. Особенности лингвистического и информационного обеспечения ИСТРА 57
6.2. Классификация компонентов математического обеспечения ИСТРА 63
6.3. Табличные модели 65
6.4. Сетевые модели 73
6.5. Перестановочные модели 86
6.6. Сочетательные модели 93
6.7. Структура математического обеспечения задач конструкторского и технологического проектирования 100
6.8. Классификация компонентов программного обеспечения ИСТРА 103
6.9. Модули обработки табличных моделей 104
6.10. Модули обработки сетевых моделей 108
6.11. Модули обработки перестановочных моделей 117
6.12. Модули обработки сочетательных моделей 122
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. П1. Некоторые понятия математической логики, теории множеств и теории графов 127
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. П2. Классификация проектирующих систем в зависимости от уровня унификации средств обеспечения 131
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. П3. Математические модели объектов конструкторского проектирования 134
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. П4. Типовые математические модели и алгоритмы технологического проектирования 152
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. П5. Математические модели процессов проектирования и создания САПР 185

gost.e-ecolog.ru