УДК 658.51

К.А.Федосеев

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА САМОЛЕТОВ

Технологическая подготовка сборочного производства самолетов представляет собой комплекс задач [1,2], который примем за конечное множество [3]

$$A = \left\{ a_i : a_i - \text{ЗТПП} \right\}; \; i \in N \,\middle|\, i < na_i , \qquad (1)$$

где a_i - такие элементы множества A, которые представляют собой задачи технологической подготовки (ЗТПП) сборочных работ $a_i \in A$;

N - натуральный ряд чисел;

na_i - количество i^x задач ТПП.

Анализ рассматриваемой системы показал, что все множество (1) можно разбить нетривиально по функциональному назначению a_i на следующие подмножества [4,5]: технологическое проектирование A_1 и планирование A_2, , календарное планирование A_3 , вспомогательное производство A_4 и управление подготовкой производства A_5

$$A_i \subset A = \bigcup_{i=1}^{5} A_i \qquad \text{или} \qquad A_i \in \beta(A) \Longrightarrow A_i \dot{\subset} A ,$$

где A_i - такие подмножества множества A , которые представляют собой подсистемы ТПП сборочных работ, $i = 1,2 \ldots 5$; $\beta(A)$- система всех подмножеств A_i множества A .

В подсистеме технологического проектирования решаются следующие задачи, которые в дальнейшем именуются основными:

разработка конструктивно-технологической схемы членения изделия a_{1_1} ; проектирование директивной a_{1_2} и рабочей a_{1_3} технологий сборки, оснастки a_{1_4} и планировок цехов a_{1_5} , составление ведомости оснащения a_{1_6}

$$A_1 = \left\{ a_{1_1}, \ldots, a_{1_j} \right\}; \; j = 1,2,\ldots,6 ,$$

где a_1 - такие элементы подмножества A_1 множества A , которые представляют собой основные задачи подсистемы технологического проектирования ТПП, $a_{1_j} \in A \subset A$.

Остальные подсистемы $A_2,\ldots,A_5$ ТПП сборочных работ включают в себя соответственно следующие основные задачи:

составление ведомости расцеховки сборочных единиц a_{21}, проектирование технологической схемы сборки изделия a_{22} и схемы групп опережения a_{23}; разработка графиков ТПП a_{31} и сборки изделия a_{32}; производство сборочной оснастки a_{41} и монтаж оборудования a_{42}; управление ТПП сборочных работ a_{51}.

Следовательно, рассмотренные подмножества A_i множества A имеют соответственно 3, 2, 2 и I элемент

$$\left.\begin{array}{l} A_2=\{a_{21},\, a_{22},\, a_{23}\} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ A_5=\{a_{51}\} \end{array}\right\}.$$

Тогда выражение (I) можно преобразовать следующим образом

$$A=a_{ij}\in A_i=\left\{(a_{11},\ldots,a_{16}),\ldots,(a_{51})\right\}, \qquad (2)$$

где a_{ij} - такие элементы подмножества A_i множества A, которые представляют собой основные задачи подсистемы ТПП сборочных работ, $a_{ij}\in A_i\subset A$.

В практике освоения самолетов приняты следующие этапы технологической подготовки производства [5]:

разработка директивных технологических материалов производства изделия; выпуск головной серии изделия; развертывание производства изделия до заданного планом и освоенное производство изделия.

Каждому этапу ТПП самолета присущи вполне определенное содержание и объем работ по подготовке сборочного производства. Кроме того, в процессе освоения самолета совершенствуются как сами объекты сборки, так и методы и средства их производства. Поэтому технологическую подготовку сборочных работ можно рассматривать как систему, действующую вплоть до снятия изделия с производства.

Анализ основных задач a_{ij} системы A показал, что для выбора оптимального варианта проведения технологической подготовки сборочного производства самолетов на ЭВМ необходимо:

во-первых, достаточно решить только задачи $a_{12}, a_{16}, a_{21}, a_{22}$ и a_{23} соответственно подсистем A_1 и A_2;

во-вторых, принять указанный комплекс основных задач за систему A_2 и разбить его тривиально на такое целое множество A_2', что $\{A_2'\}=A_2$;

в-третьих, разложить основные задачи системы A_2 на элементарные так, чтобы решение их подчинялось определенным закономерностям.

В общем случае, к таким элементарным задачам системы можно отнести следующие [I, 2, 5]:

классификацию сборочных единиц планера a_{24} и систем a_{23} деталей нормализованных a_{21} и специальных a_{25}, материалов a_{22} элементов конструкции изделия;

определение специализации цехов a_{26}, количества a_{27} и последовательности сборки a_{29} технологических комплектов (ТК) изделия;

выбор метода сборки и способа базирования a_{210} ТК, типа конструкции оснастки a_{212} и оборудования a_{213}, варианта выполнения технологических операций сборочных работ a_{211};

расчет трудоемкости a_{218}, a_{214} и a_{215}, количества исполнителей a_{28}, a_{217} и a_{216}, циклов a_{221}, a_{219} и a_{220} соответственно сборки ТК, проектирования и изготовления оснастки, количества оснастки a_{222} и оборудования a_{223}, металлоемкости оснастки a_{225}, производственной площади под оснастку a_{224} и оборудование a_{226}, приведенных затрат a_{227};

Формирование ведомостей расцеховки сборочных единиц a_{228} и оснащения сборочного производства a_{232}, технологической схемы a_{229} и схемы групп опережения a_{231} сборки изделия, директивного технологического процесса сборки ТК a_{230}.

Следовательно, рассматриваемая система состоит из 32-х элементарных задач. По аналогии с выражением (2) множество A_2 можно представить следующим образом

$$A_2 = \{a_{21}, \ldots, a_{2j}\}, \; j = 1, 2, \ldots, 32, \qquad (3)$$

где a_{2j} - такие элементы множества A_2, которые представляют собой элементарные задачи оптимизации ТПП сборочных работ, $a_{2j} \in A_2$.

В выражении (3) утверждение, что

$a_{21}, \ldots, a_{2j}$

являются задачами оптимизации ТПП сборочных работ истинно в том и только в том случае, когда истинное высказывание о каждом элементе множества A_2 соответствует операции коньюкции [3]

$$a_{21} \wedge \ldots \wedge a_{2j}. \qquad (4)$$

Далее утверждение, что множество A_2 истинно тогда и только тогда, когда истинное высказывание (4) соответствует операции эквиваленции [3]

$$A_2 \equiv a_{21} \wedge \ldots \wedge a_{2j} . \tag{5}$$

Элементы множества a_{2j} могут принимать j - 32 значения. В связи с этим a_{2j} являются высказывательной переменной, а выражение (5) будет высказывательной формой U (3). Поэтому выражение (3) состоящее из всех тех и только тех элементов a_{2j}, для которых $U(a_{2j})$ истинно, можно преобразовать следующим образом

$$\mathcal{E}\left\{a_{2j} \in A_2 \,\middle|\, U(a_{2j})\right\}, \tag{6}$$

где $\mathcal{E}$ - оператор, применение которого в высказывательной форме есть множество;

$U(a_{2j})$ - тридцатидвухместная высказывательная форма.

Таким образом,

$$a_{2j} \in \mathcal{E}\left\{a_{2j} \in A_2 \,\middle|\, U(a_{2j})\right\} \equiv a_{2j} \in A_2 \wedge U(a_{2j}).$$

Для перехода от высказывательной формы $U(a_{2j})$ к высказыванию, например a_{21}, воспользуемся операцией навешивания квантора [3]. Тогда для любой переменной a_{2j} высказывание a_{21}, получающееся подстановкой этого значения в форму U вместо a_{2j}, истинно и выражение (6) примет следующий вид

$$(\forall a_{2j} \in A_2)\, U(a_{21}) \equiv (\forall a_{2j})\, U(a_{221}), \tag{7}$$

где $\forall$ - оператор (квантор общности), результат навешивания которого на высказывательную форму есть высказывание.

Квантор общности является обобщением, аналогом операции коньюкции

$$(\forall a_{2j})\, U(a_{2j}) \equiv U(a_{21}) \wedge \cdots \wedge U(a_{232}). \tag{8}$$

На основании выражений (7) и (8) систему оптимизации технологической подготовки сборочного производства самолетов можно представить следующим образом

$$(\forall a_{2j})\, U(a_{21} \wedge \ldots \wedge a_{232}). \tag{9}$$

Элементы a_{2j} находятся в отношениях эквивалентности и порядка на множестве А [3,6]. Если принять A_2 за область задания отношения, то отношения между элементами a_{2j} можно представить как пару множеств

$$\mathcal{G}_{Df} = \langle \Phi, A_2 \rangle, \tag{10}$$

первая компонента $\varphi \subseteq A_2^2$ которых является подмножеством квадрата второй компоненты, т.е. графиком отношения. Указанные отношения элементов a_{2j} на множестве A_2 обладают определенными свойствами.

Отношения эквивалентности $\tilde{\varphi}$ элементарных задач a_{2j} рассматриваемой системы A_2 имеют свойства:

симметричности, например, если выполнено отношение $a_{24} \tilde{\varphi} a_{210}$, то выполняется и $a_{210} \tilde{\varphi} a_{24}$,

$$(\forall a_{24})(\forall a_{210})[a_{24} \neq a_{210} \rightarrow (a_{24} \tilde{\varphi} a_{210} \rightarrow a_{210} \tilde{\varphi} a_{24})],$$

т.е. задачи системы A_2 сходны или не сходны между собой независимо от порядка, в котором они рассматриваются;

транзитивности, например, если выполняется отношение $a_{24} \tilde{\varphi} a_{210}$ и $a_{210} \tilde{\varphi} a_{212}$, то выполняются и $a_{24} \tilde{\varphi} a_{212}$,

$$(\forall a_{24})(\forall a_{210})(\forall a_{212})[a_{24} \tilde{\varphi} a_{210} \wedge a_{210} \tilde{\varphi} a_{212}) \rightarrow a_{24} \tilde{\varphi} a_{212}],$$

т.е. все задачи a_{2j} принадлежат только одной системе A_2;

рефлексивности, которая является следствием симметричности и транзитивности отношения $\tilde{\varphi}$. Например, отношение $a_{24} \tilde{\varphi} a_{24}$ всегда выполняется

$$(\forall a_{24})[a_{24} \tilde{\varphi} a_{24}],$$

т.е. любая задача системы A_2 заведомо не похожа сама на себя и похожа на себя.

Отношение $a_{21} \tilde{\varphi} a_{2j}$ на множестве A_2 и целое разбиение A_2' множества A_2 между собой сопряжены, причем сопряженное разбиение в этом случае единственно [3,6]. Поэтому элементы a_{2j} множества A_2 можно принять за структурные составляющие системы оптимизации технологической подготовки сборочного производства. Тогда принятые части системы будут характеризовать расчлененность ее структуры. Расчлененность структуры отражает одну из сторон и определяется количеством и качеством составляющих частей системы. Следовательно, рассматриваемая система состоит из 32-х структурных составляющих, которые представляют собой элементарные задачи.

Отношения порядка $\underset{\varphi}{\leq}$ элементарных задач a_{2j} рассматриваемой системы A_2 имеют свойства:

транзитивности

$$(\forall a_{24})(\forall a_{210})(\forall a_{212})\left[(a_{24} \underset{\varphi}{\leq} a_{210} \wedge a_{210} \underset{\varphi}{\leq} a_{212}) \rightarrow a_{24} \underset{\varphi}{\leq} a_{212}\right];$$

антирефлексивности, например, из отношения $a_{24} \underset{\varphi}{\leq} a_{210}$ следует, что $a_{24} \neq a_{210}$

$$(\forall a_{24}) \neg \left[a_{24} \underset{\varphi}{\leq} a_{24}\right],$$

т.е. отношение $\underset{\varphi}{\leq}$ может выполняться только для разных задач a_{2j} системы A_{2i};

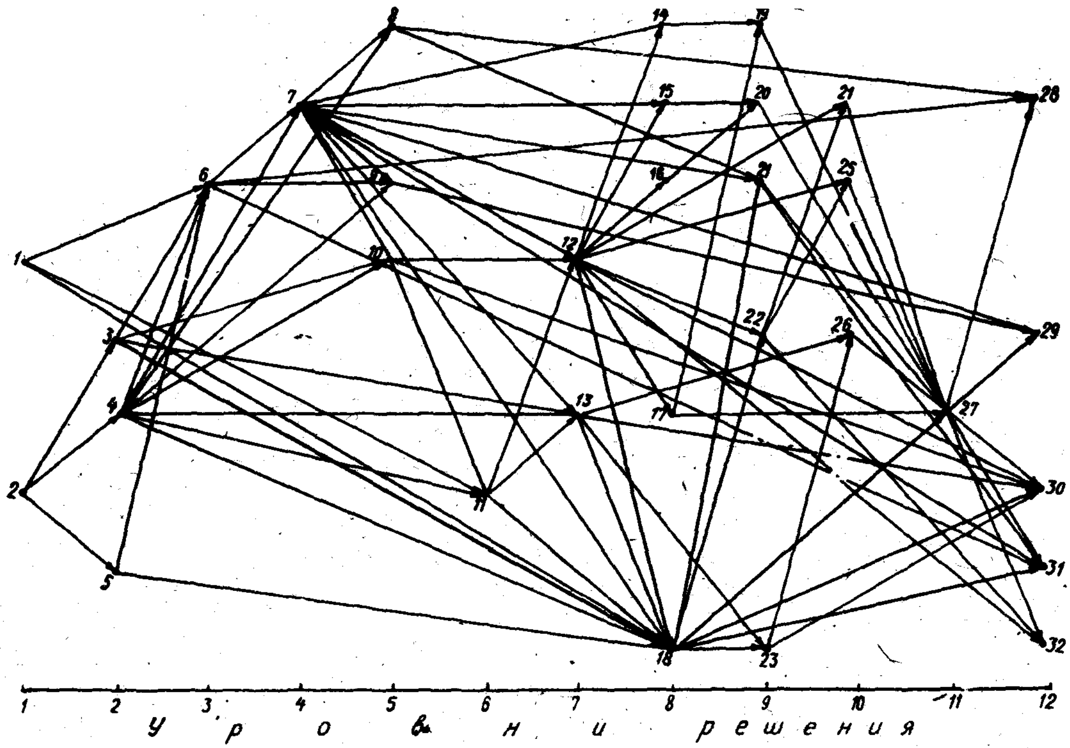
. антирефлексивности, которое является следствием транзитивности и антирефлекторности отношения $\underset{\varphi}{\leq}$. Например, из отношений $a_{24} \underset{\varphi}{\leq} a_{210}$ и $a_{24} \underset{\varphi}{\geq} a_{213}$ по меньшей мере одно не выполнено

$$(\forall a_{24})(\forall a_{210})\left[a_{24} \neq a_{210} \rightarrow (a_{24} \underset{\varphi}{\leq} a_{213} \vee a_{24} > a_{210})\right];$$

т.е. задачи a_{2j} системы A_2 имеют определенную последовательность решения.

Отношение $\underset{\varphi}{\leq}$ с указанными свойствами элементов a_{2j} на множестве A_2 является отношением строгого порядка и характеризует вторую сторону рассматриваемой системы - ее целостность. Она определяется связями задач в пространстве и во времени, благодаря чему система выступает как единое целое. Задачи $a_{21},\dots,a_{2j}$ системы A_2 можно было бы расположить в пространстве согласно присвоенным им порядковым номерам, но задачи a_{21} и a_{22}; $a_{23},\dots$, a_{25}; a_{26}; a_{27}; $a_{28},\dots,a_{210}$; a_{211}; a_{212} и a_{213}; $a_{214},\dots,a_{218}$; $a_{219},\dots,a_{223}$; $a_{224},\dots,a_{226}$; a_{227} и $a_{228},\dots,a_{232}$ в каждой из указанных групп между собой не „$\not>$", не „$\not<$" и не „$\neq$", т.е. не находятся в рассматриваемом отношении (несравнимы). Поэтому во времени задачи a_{2j} оптимизации технологической подготовки сборочного производства имеют 12 уровней решения.

Отношение (10) наиболее наглядно и адекватно можно изобразить с помощью графа [7, 8] аналогично тому, как график есть геометрическая форма функции. Примем задачи a_{2j} оптимизации ТПП сборочных работ за непустое множество вершин A_2, $a_{21},\dots,a_{234} \in A_2 \neq \varnothing$. Примем также логически связанные между собой задачи (a_{2j}, a_{2j}^{+}) за множество дуг U_{A_2}, $(a_{21}, a_{26}),\dots,(a_{27}, a_{234}) \in U_{A_2}$. Тогда взаимосвязь и иерархия структурных составляющих рассматриваемой системы



Р и с. I. Структурная модель оптимизации ТПП сборочных работ

3-3425

может быть выражена графом $\mathcal{G}_{A_2}$ (рис. I)

$$\mathcal{G}_{A_2} = \langle A_2, U_{A_2} \rangle, \qquad (II)$$

в котором

количество дуг (a_{2j}, a_{2j}^{+1}) равно

$$(n-1) < m < \left[\frac{n(n-1)}{2}\right],$$

т.е. больше, чем в графе "дерево" и меньше, чем в "полном" графе;

минорантой $(мин\, a_{2j})$ являются вершины a_{2_1} и a_{2_2}, степени которых соответственно равны $P(a_{2_1}) = 3$ и $P(a_{2_2}) = 3$, т.е. "n" и $P > 1$;

мажорантой $(макс\, a_{2j})$ являются вершины a_{2_1} и a_{2_2}, степени которых соответственно равны $P(a_{2_8}) = 3$, $P(a_{2_{29}}) = 3$, $P(a_{2_{30}}) = 7$, $P(a_{2_{31}}) = 5$, $P(a_{2_{32}}) = 3$, т.е. "n" и $P > 1$;

полустепени захода $P^+(мин\, a_{2j})$ и исхода $P^-(макс\, a_{2j})$ вершин, множество соответственно входящих $U^+ мин\, a_{2j}$ и исходящих $U^+_{макс} a_{2j}$ дуг равны нулю, т.е. $P^+(мин\, a_{2j}) = 0$ и $P^-(макс\, a_{2j}) = 0$. Граф (IO) с вышеприведенными свойствами является "сетью" [7,8] в котором множество вершин A_2 изоморфно задачам a_{2j} оптимизации технологической подготовки сборочного производства и множество дуг U_{A_2} – отношениям, определяющим упорядоченность их решения. Свойства $мин\, a_{2j}$ и $макс\, a_{2j}$ вершин графа рассматриваемой системы определяют связи ее с окружающей средой. Так, со стороны входа $P^+(мин\, a_{2j}) = 0$ она воспринимает результат конструкторской подготовки производства. Со стороны выхода $P^-(макс\, a_{2j})$ система сама воздействует на технологическое проектирование и календарное планирование ТПП сборочных работ.

Выводы

I. Для выбора оптимального варианта ТПП сборочных работ необходимо спроектировать директивный техпроцесс и составить ведомость оснащения, а также решить задачи технологического планирования.

2. Комплекс задач оптимизации технологической подготовки сборочного производства самолетов обладает системной характеристикой – только ему присущей функцией, структурой и связями с окружающей средой.

Литература

1. Абибов А.Л. и др. Технология самолетостроения. М.:Машиностроение, 1970, 598с.
2. Бойцов В.В. и др. Сборочные и монтажные работы. М.:Оборонная промышленность, 1959, 476с.
3. Шиханович Ю.А. Введение в современную математику. М.:Наука, 1965. 375с.
4. Методы расчета основных показателей плана серийного производства летательных аппаратов. НИАТ, 1964. 131с.
5. Руководство по организации технологической подготовки производства на самолетостроительных заводах. НИАТ, 1957. 497с.
6. Шрейдер Ю.А. Равенство, сходство, порядок. М.: Наука, 1971. 252с.
7. Берж К. Теория графов и ее применение. М.: Иностранная литература, 1962, с 319с.
8. Уилсон Р. Введение в теорию графов. М.: Мир, 1977. 207с.

УДК 621.791.76:621.7.044.2

А.А.Дудин

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ СВАРКЕ

Сопоставление геометрических характеристик сварных соединений с диаграммами движения метаемого элемента позволяет представить процесс образования соединения при магнитно-импульсной сварке [1] в следующей последовательности (рис. 1).

1. В начальный момент свариваемые поверхности образцов расположены друг к другу под некоторым углом α_0 и с зазором δ_0 между ними.

---

[1] Лысенко Д.Н., Ермолаев В.В., Дудин А.А. А.С. №226393- Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки, 1968, №28, с.136.