



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 65.015.13: 674.01

А.И. Гильденгорн, М.П. Худяков

Гильденгорн Александр Иосифович родился в 1958 г., окончил в 1982 г. Севмашвуз, ведущий специалист ФГУП ПО «Севмашпредприятие». Имеет 3 научных работы в области технологии автоматизированного производства.



Худяков Михаил Павлович родился в 1965 г., окончил в 1987 г. Севмашвуз, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и технических систем машиностроения Севмашвуза. Имеет около 20 научных работ в области технологии автоматизированного производства.



ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены математический аппарат и методика формирования технологических моделей, используемые при проектировании и управлении производственными процессами.

Ключевые слова: технологическая модель, полихроматическое множество, технологичность конструкции изделия.

Автоматизированное проектирование и управление проектированием технологических процессов производства изделий лесопромышленного комплекса предусматривает создание описывающих их технологических моделей. Эти модели, с одной стороны, представляют собой технологические образы изделий, с другой – отражают производственные процессы их изготовления. Таким образом, технологическая модель является связующим звеном между описаниями изделия и производством, в котором оно изготавливается. Важной характеристикой технологических моделей служит динамичность, т. е. изменение их параметров во времени. Это условие по-

зволяет эффективно использовать модели в задачах управления процессом технологического проектирования.

Для формирования технологических моделей применим аппарат полихроматических ПС-множеств и ПС-графов [1], оперирующий условным понятием «цвет» в качестве универсального, задающего различные характеристики объектов описания. В соответствии с ним при представлении объекта моделирования в виде ПС-множества учитываются его собственные цвета $F_j(A)$ или цвета $F_j(a_i)$ его элементов a_i ; $A = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$, соответствующие j -му свойству объекта или его элемента. Каждому элементу $a_i \in A$ соответствует множество цветов $F(a_i)$, а множеству A в целом – множество цветов $F(A) = (F_1, \dots, F_j, \dots, F_m)$. Множество цветов $F(a_i)$ называют персональной раскраской этого элемента. Цвет $F_j(A)$ ПС-множества в целом как единого объекта, в отличие от персонального цвета $F_j(a_i)$ элемента $a_i \in A$, называют унитарным, а полный состав $F(A)$ таких цветов – унитарной раскраской ПС-множества. Отношения между элементами одного множества определяют булевы матрицы. Например, для задания размерно-точностных связей элементов конструкции изделия используют булеву матрицу $[A \times F(A)]$ персональных цветов элементов $a_i \in A$, одноименных с унитарными цветами $F(A)$. Все булевы матрицы могут быть представлены в виде списков или логических уравнений. В логическом уравнении, эквивалентном списку, функцией является имя списка, а аргументами – входящие в список элементы, представленные в виде логических переменных.

При моделировании процесса изготовления изделия A_i в производственной системе P исходными данными служит требуемый состав $F(A_i)$ унитарных цветов. Результатом является структура элементов производственной системы, реализующей унитарные цвета. Одноименные свойства изделия и производственной системы P описываются одинаковыми унитарными цветами $F_j(A_i) \equiv F_j(P)$. Наличие $F_j(P)$ отражает возможность реализации $F_j(A_i)$ в производственной системе P . Можно считать, что $F_j(A_i)$ отражает свойство конструктивного элемента изделия A_i «иметь возможность обрабатываться в P », а $F_j(P)$ – свойство P «иметь возможность обрабатывать j -м способом конструктивный элемент изделия A_i ». Задание отношения порядка на ПС-множестве элементов технологической системы обработки изделия формирует варианты возможных технологических маршрутов, которые графически могут быть отображены в виде путей на ПС-графе. Так формируется модель производственной системы, реализующей технологический процесс преобразования изделия из предшествующего $(A_i)_{k-1}$ в последующее $(A_i)_k$ состояние. Модель производственной системы включает разные способы обработки и ее используют для выбора средств оснащения производства, обеспечивающих реализацию унитарных цветов конъюнктивного ПС-множества элементов изделия. Это множество образуется применением конъюнкции к матрице $F(A_i)$ и отражает группирование элементов изделия по определенным, в частности по конструктивно-технологическим, признакам. Например, на базе ПС-множеств формируют конструктивно-

технологические классификаторы изделий, разрабатывают типовые и групповые технологические процессы.

С помощью рассмотренного математического аппарата путем комбинации операций над ПС-множествами решают различные задачи конструкторско-технологического проектирования и управления. В качестве примера рассмотрим задачу управления производственной технологичностью механически обрабатываемой корпусной конструкции вакуумно-вихревой установки для сжигания отходов лесопереработки (см. рисунок).

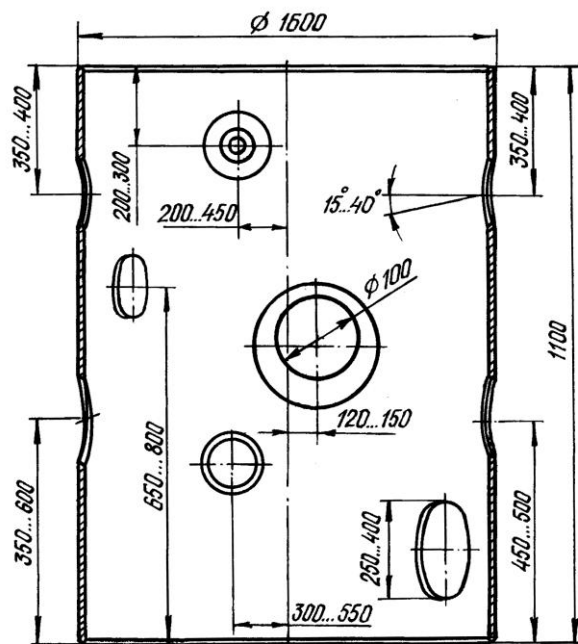
Необходимо построить модели конструкции изделия и производственной системы на основе альтернативных вариантов технологических процессов, а также количественную модель оценки показателей технологичности.

Модель конструкции изделия представим в виде ПС-множества механически обрабатываемых конструктивных элементов изделия. Элементы конструкции: a_1 – поверхность оболочки; a_2 – верхняя торцевая поверхность; a_3 – нижняя торцевая поверхность; a_4 – цилиндрическое отверстие на поверхности оболочки; F_1 – цилиндрическая поверхность; F_2 – фаска на торцевой поверхности; F_3 – плоская торцевая поверхность; F_4 – ось отверстия, радиально ориентированная относительно оси оболочки, нормально к образующей; F_5 – ось отверстия, радиально ориентированная относительно оси оболочки, имеет наклон относительно образующей; F_6 – ось отверстия расположена в плоскости, параллельной диаметральной плоскости (ДП) и имеющей смещение относительно ДП, нормально к образующей; F_7 – ось отверстия расположена в плоскости, параллельной ДП и имеющей смещение относительно ДП и наклон относительно образующей; F_8 – ось отверстия, имеющая наклон к плоскости, параллельной ДП, смещение относительно ДП и наклон относительно образующей; F_9 – плоская поверхность цилиндрического отверстия; F_{10} – фаска на поверхности цилиндрического отверстия.

Таким образом,

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4);$$

$$F(A) = (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9).$$



С учетом конъюнктивной формы связи персональных и унитарных цветов их соотношение в конструкции изделия представлено в виде булевых матриц:

$$[A \times F(A)]$$

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
a_1	•									
a_2		•								
a_3			•							
a_4				•	•	•	•	•	•	•

и

$$[A \times A(F)]$$

	$A(F_1)$	$A(F_2)$	$A(F_3)$	$A(F_4, F_9)$	$A(F_4, F_{10})$	$A(F_5, F_9)$	$A(F_5, F_{10})$	$A(F_6, F_9)$	$A(F_6, F_{10})$	$A(F_7, F_9)$	$A(F_7, F_{10})$	$A(F_8, F_9)$	$A(F_8, F_{10})$
a_1	•												
a_2		•											
a_3			•										
a_4				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Конъюнктивное $\hat{\Pi} S$ -множество элементов конструкции секции корпуса может быть представлено в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 A &= (a_1, a_2, a_3, a_4); \\
 F(A) &= (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9); \\
 \{F(a_i)_A\} &= \{F(a_1) = F_1, F(a_2) = F_2, F(a_3) = F_3, F(a_4) = (F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9)\}; \\
 \{A_{\kappa}(F)\} &= \{A(F_1) = a_1, A(F_2) = a_2, A(F_3) = a_3, A(F_4, F_9) = a_4, A(F_4, F_{10}) = a_4, A(F_5, F_9) = \\
 &= a_4, A(F_5, F_{10}) = a_4, A(F_6, F_9) = a_4, A(F_6, F_{10}) = a_4, A(F_7, F_9) = a_4, A(F_7, F_{10}) = \\
 &= a_4, A(F_8, F_9) = a_4, A(F_8, F_{10}) = a_4\}.
 \end{aligned}$$

Таким образом, в виде ПС-множества описаны конструктивные элементы, обработку которых необходимо выполнить при изготовлении корпусной конструкции.

Следующий этап состоит в формировании ПС-множества элементов технологической системы обработки изделия. Элементы производственной системы: технологические операции (p_1 – токарная обработка, p_2 – сверление, p_3 – растачивание, p_4 – фрезерование фаски в отверстиях); инструменты (p_5 – резец, p_6 – сверло, p_7 – фреза); станки (p_8 – карусельный, p_9 – токарно-карусельный, p_{10} – карусельно-расточной с ЧПУ); станочные приспособления (p_{11} – специальная головка для изменения угла наклона инструмента, p_{12} – специальная расточная головка для фрезерования фасок в отверстиях, расположенных под углом к образующей, p_{13} – опорное приспособление для выравнивания изделия при установке на станке).

Таким образом,

$$\begin{aligned}
 P &= (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}); \\
 F(P) &= (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9).
 \end{aligned}$$

Следовательно, имеем булевы матрицы
 $[P \times F(P)]$

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
p_1	•	•	•							
p_2				•	•	•	•	•	•	•
p_3				•	•	•	•	•	•	
p_4				•	•	•	•	•		•
p_5	•	•	•							
p_6				•	•	•	•	•	•	
p_7				•	•	•	•	•		•
p_8	•	•	•							
p_9	•	•	•	•	•	•			•	•
p_{10}	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
p_{11}					•		•	•		
p_{12}				•	•	•	•	•		
p_{13}	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

$[P \times P(F)]$

	$P(F_1)$	$P(F_1)$	$P(F_1)$	$P(F_2)$	$P(F_2)$	$P(F_2)$	$P(F_3)$	$P(F_3)$	$P(F_3)$	$P(F_4, F_9)$	$P(F_4, F_{10})$	$P(F_5, F_9)$	$P(F_5, F_{10})$	$P(F_6, F_9)$	$P(F_6, F_{10})$	$P(F_7, F_9)$	$P(F_7, F_{10})$	$P(F_8, F_9)$	$P(F_8, F_{10})$
p_1	•	•	•	•	•	•	•	•	•										
p_2										•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
p_3										•		•		•		•		•	
p_4											•		•		•		•		•
p_5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•		•		•		•	
p_6										•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
p_7											•		•		•		•		•
p_8	•			•			•												
p_9		•			•			•		•	•	•	•	•	•				
p_{10}	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
p_{11}												•				•		•	
p_{12}											•		•		•		•		•
p_{13}	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Для оценки технологичности конструкции изделия используют количественные модели расчета показателей. Производственную технологичность оценивают прежде всего по трудоемкости изготовления изделия. Трудоемкость выполнения k -й операции T_k определяют по общей формуле [2]

$$T_k = A_T \Pi a_i^{\alpha_i},$$

где A_T – коэффициент пропорциональности;

a_i – количественная величина параметра изделия;

α_i – количественная величина, характеризующая свойства производственной системы, влияющие на трудоемкость операции.

Количественная модель представляет собой булеву матрицу связи технологических операций, реализованных в ПС-множестве элементов технологической системы обработки изделия, с номерами формул расчета трудоемкости (с 1 по 4 – номера формул); числовые матрицы количественных величин α_i и коэффициента пропорциональности A_T :

	p_1	p_2	p_3	p_4
1	•			
2		•		
3			•	
4				•

Номер формулы	Параметры изделия						
	D	d	δ	k_m	k_y	k_ϕ	k_{cm}
	1	2	3	4	5	6	7
1	$\alpha_{1.1}$	0	$\alpha_{1.3}$	$\alpha_{1.4}$	0	0	0
2	0	$\alpha_{2.2}$	$\alpha_{2.3}$	$\alpha_{2.4}$	$\alpha_{2.5}$	$\alpha_{2.6}$	$\alpha_{2.7}$
3	0	$\alpha_{3.2}$	$\alpha_{3.3}$	$\alpha_{3.4}$	$\alpha_{3.5}$	$\alpha_{3.6}$	$\alpha_{3.7}$
4	0	$\alpha_{4.2}$	$\alpha_{4.3}$	$\alpha_{4.4}$	$\alpha_{4.5}$	$\alpha_{4.6}$	$\alpha_{4.7}$

Номер формулы	1	2	3	4
A_T	A_1	A_2	A_3	A_4

В рассматриваемом случае параметры изделия: D – диаметр оболочки; d – диаметр отверстия; δ – толщина оболочки; k_m – коэффициент, зависящий от марки материала; k_y – коэффициент, зависящий от угла наклона оси отверстия к образующей; k_ϕ – коэффициент, зависящий от формы фаски на поверхности отверстия; k_{cm} – коэффициент, зависящий от смещения отверстия относительно ДП оболочки.

Трудоемкость выполнения технологических операций определяют для всех условий обработки поверхностей по матрице $[P \times F(P)]$ с последующим определением суммарной трудоемкости обработки поверхности:

	$P(F_1)$	$P(F_1)$	$P(F_1)$	$P(F_2)$	$P(F_2)$	$P(F_2)$	$P(F_3)$	$P(F_3)$	$P(F_3)$	$P(F_4, F_9)$	$P(F_4, F_{10})$	$P(F_5, F_9)$	$P(F_5, F_{10})$	$P(F_6, F_9)$	$P(F_6, F_{10})$	$P(F_7, F_9)$	$P(F_7, F_{10})$	$P(F_8, F_9)$	$P(F_8, F_{10})$	Σ
P_1	•	•	•	•	•	•	•	•												
P_2									•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
P_3									•		•		•		•		•		•	
P_4									•		•		•		•		•		•	
Σ	9,6	7,2	4,3	6,1	4,8	2,2	3,4	2,1	1,8	4,5	8,0	16,5	28,7	23,6	42,0	36,9	88,7	44,1	127,4	461,9

Аналогичную модель используют для определения технологической себестоимости изготовления изделия. Сравнивая полученные показатели с базовыми их значениями, определяют относительные показатели производственной технологичности. Сравнительный анализ показателей дает основание для принятия решений об использовании технологического процесса, оптимальном составе оборудования производственной системы, изменении конструкции изделия в целом или отдельных ее элементов.

Анализ конструкции рассмотренного изделия показал, что изменение угла наклона оси отверстия относительно образующей имеет существенное значение для показателей производственной технологичности. С увеличением угла от 12 до 18° трудоемкость обработки возрастает в 1,2 раза, от 18 до 25° – в 2,8 раза. Предельно допустимое технологическое значение угла составило 36°. Наиболее высокие показатели при обработке таких отверстий достигнуты при выполнении работ на карусельно-расточном станке с ЧПУ с использованием специальных угловых головок. Кроме того, с увеличением объема группы изделий такого типа себестоимость обработки на станке указанного типа снижается более существенно.

Вывод

Использование аппарата полихроматических множеств позволяет на общих методологических принципах осуществить моделирование различных этапов процесса создания изделия и оценку производственной технологичности на ранних стадиях проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В.В. Полихроматические множества в теории систем. Структура ПС-множеств // Информационные технологии. – 1997. – № 7. – С. 11–16.
2. Технологичность конструкции изделия // Под ред. В.С. Амирова. – М.: Машиностроение, 1987. – 386 с.

ФГУП ПО «Севмашпредприятие»

Севмашвтуз

Поступила 22.05.02

A.I. Hildengorn, M.P. Hudyakov

Technological Models Formation of Machine-building Products for Woodworking Complex

Mathematical apparatus and technique of technological models' formation to be used at production design and control are considered