

УДК 004.89

А.С. КОТОВ¹, О.Ю. ШЕВЧЕНКО²¹ *Харьковский НИИ технологии машиностроения; Украина*² *Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина*

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В статье рассматривается проблема выбора технологических решений (ТР) при вариантно синтезе и оценке технологических процессов (ТП) приборостроительного производства. На основе концепции единого информационного пространства предприятия и знаниеориентированной поддержки принятия технологических решений предлагается иерархическая теоретико-множественная модель задачи выбора технологических решений, которая решается в три этапа: выбор материала и вида обработки поверхностей детали, а также способа получения и вида заготовки для ТП заготовительной фазы производства; выбор операций технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов изготовления деталей для ТП обрабатывающей фазы; выбор оборудования и комплектующих для ТП основного производства – сборки изделий. Формализуются также основные принципы вариантного выбора ТР: повышение эффективности производства разрабатываемого изделия, иерархичность структуры задачи выбора.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, архив технологических решений, принятие решений, теоретико-множественная модель, задача выбора.

Введение

По мере количественного и качественного увеличения факторов производства, расширения использования на практике научных достижений, открытости национальных границ для зарубежных товаров и капиталов, усиления конкурентной борьбы во многих отраслях экономики, предложение продукции стало преобладать над спросом. Кроме того, существенно возросла динамичность и неопределенность факторов производственных процессов. В этих условиях предприятия вынуждены снижать серийность, расширять номенклатуру изделий, предлагать несколько модификаций одного изделия и переходить на позаказное производство. Поэтому важными стали проблемы сокращения сроков подготовки и повышения управляемости производства. Возникла задача выработки вариантов реинжиниринга производства и оценки эффективности этих вариантов на предпроектной стадии [1].

Постановка задачи исследования

Одним из основополагающих процессов на любом предприятии является технологическая подготовка производства (ТПП). Именно решение задач ТПП позволяет получить ответы на вопросы о стоимости продукции, сроках ее изготовления, необходимых затратах на приобретение основных средств производства и вспомогательных материалов.

Именно автоматизация процессов ТПП приводит к сокращению времени подготовки производства, снижению себестоимости продукции и увеличению номенклатуры выпускаемых изделий [2].

Основным направлением снижения трудоемкости и сложности технологической подготовки является разработка формализованных процедур оценивания существующих технологических решений и предлагаемых новых технологий, их влияния на общий уровень и затраты производства. Существует подход к оценке технологических решений на основе использования данных групповой технологии [3]. С целью получения лучшего варианта технологического процесса используется метод генетических алгоритмов [4]. Варианты оцениваются по критерию себестоимости технологического процесса. При принятии решения о разработке новых изделий необходим анализ содержания и ресурсного обеспечения всех стадий и этапов жизненного цикла планируемого к производству изделия. Системное решение всех задач технологического мониторинга системы производства осуществляется при моделировании с использованием математического аппарата теории полихроматического множества и графов [5]. Подсистема выводов содержит процедуры поддержки принятия решений при планировании и стимулировании производства, основанные на проектировании адаптивных механизмов функционирования [6].

Основным недостатком существующих подходов является слабое использование накопленного

опыта при формировании вариантов технологических процессов (ТП) вследствие отсутствия формализованного представления информационного обеспечения технологических решений. Формальные методы не являются пригодными для решения большинства задач оценки технологий, поскольку эти задачи характеризуются неполнотой и разнотипностью данных, вариантноностью правил вывода. Поэтому актуально привлечение средств знаниеориентированной поддержки принятия технологических решений.

Метод оценки технологических решений (ТР) на основе прецедентного подхода предполагает использование технологической базы знаний. Применяемый подход основывается на организации автоматизированных типовых ТР для конкретного предприятия, в которых реализованы логические алгоритмы подбора и вычисления данных, необходимых для формирования решений в отдельном ТП. В качестве ТР могут рассматриваться элементы структуры ТП (на уровне операций), которые содержат автоматизированные механизмы подбора и расчета элементов процесса (подбор оборудования, оснастки и т.п.). Поиск в базе знаний близких ТР осуществляется на основе формализованных элементов – составляющих иерархической модели задачи выбора.

Решение задачи

Обозначим общую задачу выбора ТР через Z_n . В соответствии со схемой основных производственных процессов приборостроительного предприятия (рис. 1), эта задача решается в три этапа:

– выбора материала и вида обработки поверхностей детали, а также способа получения и вида заготовки для ТП заготовительной фазы;



Рис. 1. Основные производственные процессы приборостроительного предприятия

– выбора операций технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров изготовления деталей для ТП обрабатывающей фазы;

- выбора оборудования и комплектующих для ТП основного производства – сборки изделий.

При решении каждой из указанных задач необходимо решить ряд более мелких задач. Комплексное решение всех задач требует создания иерархической модели процесса выбора ТР и определения его параметров, в которую входят задачи межуровневой координации и задачи, обеспечивающие получение решения в минимальные сроки (рис. 2). Перечень множества задач выбора и оценки элементов ТП представлен ниже, описание входных и выходных сигналов задач дано в детализации принципа иерархичности структуры предложенной модели

Сформулируем математическую модель задачи выбора ТР для изделий приборостроения. Пусть:

X – множество возможных вариантов: видов материалов, используемых для изготовления детали; видов обработки, обеспечивающих заданные показатели качества изделия; видов заготовок и методов их получения; допустимых наборов оборудования для проведения технологических операций для выбранных способов получения заготовок; соответствующих каждому виду обработки приспособлений, видов вспомогательных материалов;

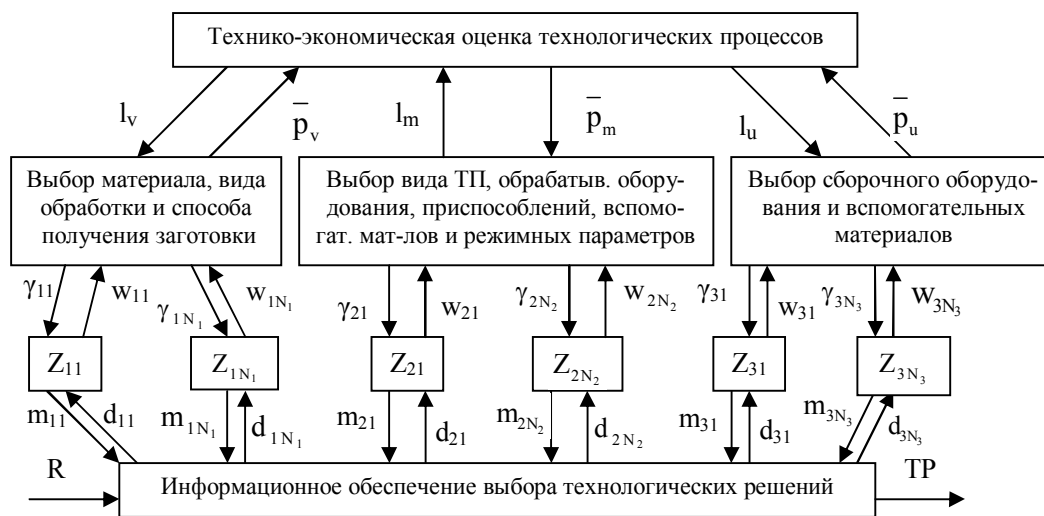


Рис. 2. Иерархическая структура модели задачи выбора и оценки технологических решений

R – множество вариантов ТП изготовления изделия;

V – множество технико-экономических оценок изготовления изделия из выбранного материала с использованием определенного оборудования.

Введем функцию F эффективности выбора варианта решения задачи с учетом его физической реализуемости как отображение декартова произведения $R \times X$ в множество оценок, т.е. $F: X \times R \rightarrow V$ и функцию предельного значения показателя эффективности $Q: R \rightarrow V$. Тогда задачу Z_n можно представить как задачу выбора такого варианта

$$x^* \in X' \subset X, \quad (1)$$

при котором $F(x^*, r) \cup Q(r)$ при любом $r \in R$. Таким образом, x^* является решением задачи Z_n , если при $r \in R$ оценка эффективности $F(x^*, r)$ находится в отношении U к предельной для этого r величине $Q(r)$. В соотношении (1) X' – множество допустимых вариантов решений.

Задача Z_n характеризуется набором (X', R, F, Q) . Элемент x^* из X' , удовлетворяющий (1), является решением задачи Z_n и характеризуется предикатом

$$P(x^*, Z_n) \equiv (x^* \text{ есть решение } Z_n) \quad (2)$$

Аналогично обозначим задачу выбора вида материала и вида обработки поверхностей детали, а также способа получения и вида заготовки для заготовительной фазы через Z_v , выбора вида ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров для обрабатывающей фазы через Z_m , выбор оборудования и вспомогательных материалов для фазы сборки через Z_u . Будем характеризовать задачи Z_v , Z_m и Z_u наборами (X_v, R_v, F_v, Q_v) , (X_m, R_m, F_m, Q_m) и (X_u, R_u, F_u, Q_u) . Можно считать

$$X' = Z_v \times Z_m \times Z_u, \quad R' = R_v \times R_m \times R_u$$

и рассматривать задачу Z_v как сужение задачи Z_n на множестве X_v , Z_m как сужение задачи Z_n на множестве X_m , Z_u как сужение задачи Z_n на множестве X_u , при этом $x^* = (x_v, x_m)$.

Отдельные задачи выбора элементов ТП Z_{ij} (см. рис.2) ($i \in \{1, 2, 3\}$, $j \in N_1 \subset N_2 \subset N_3$) также могут быть сформулированы в виде (1) и охарактеризованы наборами $(X_{ij}, R_{ij}, F_{ij}, Q_{ij})$. Для них, как и для задач Z_n , Z_v , Z_m и Z_u , имеет место условие (2). Общее число задач Z_{ij} равно $N_1 \subset N_2 \subset N_3$.

Обозначим вектором $S_r = (x_{11}, \dots, x_{1N_1})$ совокупность решений задач Z_{ij} , $j = 1 \dots N_1$.

При определении S_r будут определены $x_r \in X_r$, и этот факт будем характеризовать операторам Θ_r :

$$x_r = \Theta_r(S_r). \quad (3)$$

Аналогичные рассуждения справедливы при определении локальных задач в задачах выбора операций ТП, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров обработки детали.

Используя введенные обозначения, формализуем основные принципы вариантного выбора технологического решения.

1. Выбор материала, вида заготовки, наборов оборудования, оснастки и вспомогательных материалов, а также технологических операций обработки для изготавливаемой детали осуществляются исходя из эффективности производства разрабатываемого изделия.

При решении задач Z_v , Z_m и Z_u формируется вектор S_n , который порождает решение задачи Z_n , сводящий к минимуму затраты на конструирование и изготовление изделия при высокой эффективности его производства.

В свою очередь, при решении задач нижестоящего уровня, например, задач Z_{ij} , $j = 1 \dots N_1$ формируется вектор S_v , который порождает решение задачи Z_v . В формализованном виде это можно записать так:

$$\exists(Z_{ij}, x_{ij}, j=1 \dots N_1): P(x_{ij}, Z_{ij}) \Rightarrow P(x_r, Z_r) \left| \begin{array}{l} x_v = \Theta_n(S_n) \\ S_v = (x_{11}, \dots, x_{1N_1}) \end{array} \right. \quad (4)$$

Выбор наиболее эффективного варианта соответствует задаче экстремума целевой функции F_v , определенной на множестве $H_v = \{x_v \mid P(x_v, Z_v)\}$ решений задачи Z_v . В этом случае вместо (4) имеем:

$$\begin{aligned} & \exists(Z_{ij}, x_{ij}, j=1, \dots, N_1): P(x_{ij}, Z_{ij}) \Rightarrow \\ & \exists(S_r^* = (x_{11}^*, \dots, x_{1N_1}^*), x_{ij}^* = \{x_{ij}^*\}, j=1, \dots, N_1): \quad (5) \\ & F_v(\Theta_v(S_r^*)) = \text{extr}_{x \in H_v} F_v(x_v) \end{aligned}$$

Условия, аналогичные (4) и (5), имеют место в задачах Z_m и Z_u .

Метод выбора вариантов технологических решений должен удовлетворять принципу иерархичности (в соответствии со структурой информационного обеспечения), а также принципам координации задач локального поиска относительно задач вышестоящего уровня, совместимости и модифицируемости элементов технологического решения. Рассмотрим эти принципы.

2. Иерархичность структуры. В терминах теоретико-множественного моделирования множество Θ технологических решений изделий приборостроения можно представить как отношение на декартовом произведении множеств:

$$\Theta \subset R \times M_v \times M_m \times M_u \times D_v \times D_m \times D_u \times W_v \times W_m \times W_u \times \Gamma_v \times \Gamma_m \times \Gamma_u \times L_v \times L_m \times L_u \times \bar{P}_v \times \bar{P}_m \times \bar{P}_u \times \{ \times Z_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times Z_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times Z_{3j} | j \in N_3 \} \times \{ \times Z_v \} \times \{ \times Z_m \} \times \{ \times Z_u \} \times \{ \times \Theta'_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times \Theta'_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times \Theta'_{3j} | j \in N_3 \} \times \{ \times \Theta''_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times \Theta''_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times \Theta''_{3j} | j \in N_3 \} \times \{ \Theta_u \} \times \{ \Theta_m \} \times \{ \Theta_u \} \times \{ CP \} \times \{ TP \}, \quad (6)$$

где {TP} – множество решений задачи выбора технологического решения;

M_v, M_m, M_u – множества параметров поиска в задачах (выбора материала и вида заготовки, определения характеристик допустимого метода получения заготовки, наборов оборудования и вспомогательных материалов, а также технологических операций обработки и др.) нижнего уровня, например, геометрические размеры детали, технологические свойства и точностные характеристики поверхности и другие (см. рис.2):

$$M_v = \{ \times M_{1j} | M_{1j} = \{ m_{1j} \}, j \in N_1 \};$$

$$M_m = \{ \times M_{2j} | M_{2j} = \{ m_{2j} \}, j \in N_2 \};$$

$$M_u = \{ \times M_{3j} | M_{3j} = \{ m_{3j} \}, j \in N_3 \};$$

$D_v, D_m, D_u, W_v, W_m, W_u, \bar{P}_v, \bar{P}_m, \bar{P}_u$ – множества информационных сигналов о решении локальных задач, например, свойства выбранных материалов, технологические процессы обработки; типы, характеристики станочного оборудования; величины критериев локальных задач оптимизации и другие:

$$D_v = \{ \times D_{1j} | D_{1j} = \{ d_{1j} \}, j \in N_1 \};$$

$$D_m = \{ \times D_{2j} | D_{2j} = \{ d_{2j} \}, j \in N_2 \};$$

$$D_u = \{ \times D_{3j} | D_{3j} = \{ d_{3j} \}, j \in N_3 \};$$

$$W_v = \{ \times W_{1j} | W_{1j} = \{ w_{1j} \}, j \in N_1 \};$$

$$W_m = \{ \times W_{2j} | W_{2j} = \{ w_{2j} \}, j \in N_2 \};$$

$$W_u = \{ \times W_{3j} | W_{3j} = \{ w_{3j} \}, j \in N_3 \};$$

$$\bar{P}_v = \{ \bar{p}_v \}; \bar{P}_m = \{ \bar{p}_m \}; \bar{P}_u = \{ \bar{p}_u \};$$

$\Gamma_v, \Gamma_m, \Gamma_u, L_v, L_m, L_u$ – множества координирующих сигналов для локальных задач нижестоящих уровней, например, серийность детали, наличие материала на складе; длительности отдельных технологических процессов и другие:

$$\Gamma_v = \{ \times \Gamma_{1j} | \Gamma_{1j} = \{ \gamma_{1j} \}, j \in N_1 \};$$

$$\Gamma_m = \{ \times \Gamma_{2j} | \Gamma_{2j} = \{ \gamma_{2j} \}, j \in N_2 \};$$

$$\Gamma_u = \{ \times \Gamma_{3j} | \Gamma_{3j} = \{ \gamma_{3j} \}, j \in N_3 \};$$

$$L_v = \{ l_v \}; L_m = \{ l_m \}; L_u = \{ l_u \}.$$

Определим задачи выбора следующим образом:

– для задач нижнего уровня

$$Z_{ij} : R \times \Gamma_{ij} \times D_{ij} \rightarrow M_{ij}, i = \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3;$$

– для задачи выбора материала, вида обработки и вида заготовки на заготовительной фазе

$$Z_v : R \times L_v \times \{ \times W_{1j} | j \in N_1 \} \rightarrow \{ \times \Gamma_{1j} | j \in N_1 \};$$

– для задачи выбора операций технологического процесса, оборудования, приспособлений и технологических параметров изготовления на обрабатывающей фазе

$$Z_m : R \times L_m \times \{ \times W_{2j} | j \in N_2 \} \rightarrow \{ \times \Gamma_{2j} | j \in N_2 \};$$

– для задачи выбора оборудования и вспомогательных материалов на фазе сборки

$$Z_u : R \times L_u \times \{ \times W_{3j} | j \in N_3 \} \rightarrow \{ \times \Gamma_{3j} | j \in N_3 \};$$

– для задачи верхнего уровня

$$Z_n : R \times \bar{P}_v \times \bar{P}_m \times \bar{P}_u \rightarrow L_v \times L_m \times L_u.$$

Определим:

{CP} – множество операторов выбора технологических решений (множества математических моделей нижнего уровня: технологических процессов изготовления изделий приборостроения, принятия технических решений по выбору вида заготовки, вида обработки и т.п.):

$$CP : R \times M_v \times M_m \times M_u \rightarrow \{ TP \};$$

$\Theta'_{ij} = \{ \theta'_{ij} \}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3$ – множества операторов формирования информационных сигналов от процесса выбора TP к нижнему уровню иерархической системы для задач Z_{ij} :

$$\theta'_{ij} : R \times \{ \times M_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times M_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times M_{3j} | j \in N_3 \} \rightarrow D_{ij};$$

$\Theta''_{ij} = \{ \theta''_{ij} \}, i \in \{1, 2, 3\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3$ – множества операторов формирования информационных сигналов от второго уровня иерархии соответственно для задач Z_{ij} :

$$\theta''_{ij} : R \times \{ \times D_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times D_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times D_{3j} | j \in N_3 \} \times \{ \times \Gamma_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times \Gamma_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times \Gamma_{3j} | j \in N_3 \} \rightarrow W_{ij}.$$

Аналогичным образом определяются множества операторов информационных сигналов для подсистемы вышестоящего уровня.

Заключение

На основе предложенной теоретико-множественной модели задачи выбора TP, с учетом информационного обеспечения (архива ТП и TP, семантической информационной модели описания ТП) разрабатываются процедуры поиска соответствующей технологии или технологических элементов в архиве технологических решений. Поиск и оценка наиболее эффективных решений позволит сократить затраты на технологический реинжиниринг производства, обеспечить высокое качество планируемой к выпуску продукции, сокращение сроков выхода на рынок.

Литература

1. Зильбербург Л.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении / Л.И. Зильбербург, В.И. Молочник, Е.И. Яблочников. – СПб.: Компьютербург, 2003. – 152 с.

2. Волков А. Pro/TechDoc — средство разработки технологических процессов и подготовки документации по ГОСТ в системе Pro/ENGINEER / А. Волков, И. Пасынков, А. Саранчин, С. Чечиков // САПР и графика. – 2006. – № 2. – С. 48-51.

3. Гонсалес-Сабатер А. Система автоматизированного проектирования технологии инструментального производства / А. Гонсалес-Сабатер, А.В. Митряев // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного про-

дукта : сб. тез. докл. Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2001. – М., 2001. – С. 70–71.

4. Капустин Н.М. Структурный синтез при автоматизированном проектировании технологических процессов производства деталей с использованием генетических алгоритмов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов // Информационные технологии. – 1998. – № 4. – С. 34-37.

5. Павлов В.В. Полихроматические множества в теории систем. Изменение состава ПС-множеств / В.В. Павлов // Информационные технологии. – 1998. – № 1. – С. 4-8.

6. Потемкин В.К. Комплексная математическая модель прогнозирования механических свойств и структуры стального листа / В.К. Потемкин, О.С. Хлыбов, В.А. Пешков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – №12. – С. 51-56.

Поступила в редакцию 10.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. информационных управляющих систем О.В. Малеева, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

ІЄРАРХІЧНА ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

А.С. Котов, О.Ю. Шевченко

В статті розглядається проблема вибору технологічних рішень (ТР) при варіантному синтезі і оцінюванні технологічних процесів (ТП) приладобудівного виробництва. На основі концепції єдиного інформаційного простору підприємства і знанняорієнтованої підтримки прийняття технологічних рішень пропонується ієрархічна теоретико-множинна модель задачі вибору технологічних рішень, яка вирішується в три етапи: вибір матеріалу і виду обробки поверхонь деталей, а також способу виготовлення і виду заготівки для ТП заготівельної фази виробництва; вибір операцій технологічного процесу, устаткування, пристосувань, допоміжних матеріалів виготовлення деталей для ТП оброблювальної фази; вибір устаткування і комплектуючих для ТП основного виробництва – складання виробів. Формалізуються також основні принципи варіантного вибору ТР: підвищення ефективності виробництва виробу, що розроблюється, ієрархічність структури задачі вибору.

Ключові слова: технологічна підготовка виробництва, архів технологічних рішень, прийняття рішень, теоретико-множинна модель, задача вибору.

HIERARCHICAL THEORETICAL-PLURAL MODEL OF THE CHOICE TASK OF TECHNOLOGICAL DECISIONS

A.S. Kotov, O.Yu. Shevchenko

In the article the problem of choice of technological decisions (TD) is examined at a variant synthesis and estimation of technological processes (TP) of instrument-making production. On the basis of conception of single informative space of enterprise and knowledge oriented support of acceptance of technological decisions the hierarchical theoretical-plural model of the choice task of technological decisions is offered, which decides in three stages: choice of material and type of treatment of the detail surfaces, and also method of receipt and type of purveyance for TP of purveying phase of production; choice of operations of technological process, equipment, adaptations, auxiliary materials of making of details for TP of processing phase; a choice of equipment and elements for TP of basic production is assembling of wares. Basic principles of variant choice of TD is formalized also: increase of efficiency of production of the developed good, hierarchicalness of structure of task of choice.

Key words: technological preproduction, archive of technological decisions, making decision, theoretical-plural model, task of choice.

Котов Андрей Сергеевич – канд. техн. наук, директор Харьковского НИИ технологии машиностроения, Харьков; Украина.

Шевченко Ольга Юрьевна – аспирант каф. системотехники, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина, e-mail: 1375helga@mail.ru.