

УДК 658.512.4

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОЁМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ МЕХАНООБРАБОТКИ САМОЛЕТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

© 2016 Ю.В. Полянсков, И.В. Лутошкин, А.А. Блюменштейн

Ульяновский государственный университет

Статья поступила в редакцию 21.10.2016

Разрабатывается метод автоматизированного прогнозирования трудоемкости проектирования и изготовления станочных приспособлений с применением метода анализа иерархий Саати, упрощенного метода анализа иерархий Ногина и метода многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: автоматизированная система поддержки принятия решения, механообработка, станочные приспособления, технологическая подготовка производства.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках программы сокращения издержек на АО «Авиастар-СП» в 2013 г. был подготовлен план проекта по рациональному выбору станочных приспособлений при технологической подготовке производства. В качестве одного из решений было предложено разработать автоматизированную систему поддержки принятия решения по выбору системы станочного приспособления (АСППР), которая осуществляла бы анализ конструкторско-технологических, экономических и организационных факторов самолетной детали и предполагаемого приспособления [1] и выдавала рекомендации инженеру-технологу по заказу наиболее целесообразного вида технологической оснастки. Основными видами технологической оснастки были выбраны универсально-сборные приспособления (УСП) и неразборные специальные приспособления (НСП) [2].

В процессе подготовки проекта было выявлено, что на предприятии присутствуют нормативные материалы по оценке трудоемкости проектирования и изготовления технологической оснастки, необходимые для анализа экономических факторов, однако зачастую можно встретить значительное отклонение прогнозируемой оценки от фактической. Для повышения качества

прогноза по трудоемкости проектирования и изготовления станочных приспособлений было решено создать базу данных станочных приспособлений. На основе базы данных разработан алгоритм поиска множества альтернатив по набору технических показателей. Допустимая степень расхождения альтернатив по каждому из технических показателей определяется несколькими экспертами на момент ввода АСППР в промышленную эксплуатацию и может быть скорректирована в процессе ее промышленной эксплуатации.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СБОР ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОЁМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

База данных станочных приспособлений служит основным источником информации для АСППР при прогнозировании трудоемкости проектирования и изготовления и имеет следующий набор критериев:

- вид обрабатываемой детали;
- материал обрабатываемой детали;
- длина, ширина и высота обрабатываемой детали;
- схемы базирования обрабатываемой детали в станочном приспособлении;
- виды обработки на рассматриваемом станочном приспособлении;
- тип оборудования;
- наличие поверхностей сложной геометрической формы;
- качества точности.

Наполнение базы данных производится автоматизированным способом во время выбора и заказа нового станочного приспособления. Инженер-технолог проводит проверку входных значений детали и, в случае необходимости, про-

Полянсков Юрий Вячеславович, доктор технических наук, Президент ФГБОУ ВПО УлГУ, профессор, директор центра компетенций «Авиационные технологии и авиационная мобильность» УлГУ. E-mail: president@ulsu.ru
Лутошкин Игорь Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экономико-математические методы и информационные технологии» УлГУ. E-mail: Lutoshkiniv@ulsu.ru
Блюменштейн Алексей Александрович, младший научный сотрудник кафедры математического моделирования технических систем, заведующий лабораторией РПСАС НИЦ CALS-технологий УлГУ. E-mail: blyumenshteyn@mail.ru

водит уточнение по каждому из критериев с использованием справочников авиастроительного предприятия. Фактические значения трудоемкости проектирования и изготовления станочного приспособления вводятся в систему специалистами бюро планирования средств технологического оснащения и в дальнейшем используются для автоматизированного прогнозирования вновь заказываемых позиций.

ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Автоматизированный поиск альтернативных решений для прогнозирования трудоемкости проектирования и изготовления станочных приспособлений является многокритериальной задачей принятия решения.

Множеством альтернатив являются трудоемкости проектирования и изготовления неразборной специальной оснастки (НСП) и универсально-сборных приспособлений (УСП).

Каждый из критериев обрабатываемой детали на станочном приспособлении можно представить в виде оценочной функции C_i , принимающей значения на некотором множестве оценок O_i , где $i = 1..m$ и m – количество критериев. Множество критериев задается экспертом и влияет на количество и качество найденных в конечном итоге альтернатив. Оценочные функции C_i определяют степень расхождения рассматриваемого инженером-технологом станочного приспособления от позиции из базы данных. Если $A = \{a_1, \dots, a_k\}$ – множество альтернатив или решений, то $C_i: A \rightarrow O_i$. Для удобства набор критериев обрабатываемой детали на станочном приспособлении рассматривается в виде векторного критерия $C(a) = (C_1(a), \dots, C_m(a))$ для альтернативы $a \in A$ [3].

Пример определения степени расхождения C_i по критерию «материал»:

Материал детали s^{MT} представляет набор слов (g^{MT}, v^{MT}, m^{MT}) , который принадлежит группе $G^{MT} : \{g_1^{MT}, \dots, g_i^{MT}\}$, марке $V^{MT} : \{v_1^{MT}, \dots, v_j^{MT}, \dots, v_{mr}^{MT}\}$ и стандарту $M^{MT} : \{m_1^{MT}, \dots, m_n^{MT}, \dots, m_{st}^{MT}\}$, где $i \in [1, gr]$, $j \in [1, mr]$, $n \in [1, st]$, gr – количество возможных групп марок материала деталей, mr – количество возможных марок материала обрабатываемых деталей, st – количество возможных стандартов материала обрабатываемых деталей. При этом существует отношение $\varphi_1^{MT} \subseteq G^{MT} \times V^{MT}$ определяющее связь между группами и марками, а также $\varphi_2^{MT} \subseteq V^{MT} \times M^{MT}$ определяющее связь между марками и стандартами.

Степень расхождение величин $S_{пр1}^{MT}$ (материал обрабатываемых деталей на приспособлении №1)

и $S_{пр2}^{MT}$ (материал обрабатываемых деталей на приспособлении №2) в данном случае определяется следующим образом:

$$C_i = 5 - \text{допустимая величина расхождения, если } S_{пр1}^{MT} = S_{пр2}^{MT};$$

$$C_i = 3 - \text{слабая величина расхождения, если } S_{пр1}^{MT} \neq S_{пр2}^{MT}: (g_{пр1}^{MT} = g_{пр2}^{MT})(v_{пр1}^{MT} = v_{пр2}^{MT})(m_{пр1}^{MT} \neq m_{пр2}^{MT});$$

$$C_i = 2 - \text{средняя величина расхождения, если } S_{пр1}^{MT} \neq S_{пр2}^{MT}: (g_{пр1}^{MT} = g_{пр2}^{MT})(v_{пр1}^{MT} \neq v_{пр2}^{MT})(m_{пр1}^{MT} \neq m_{пр2}^{MT});$$

$$C_i = 1 - \text{недопустимая величина расхождения, если } S_{пр1}^{MT} \neq S_{пр2}^{MT}: (g_{пр1}^{MT} \neq g_{пр2}^{MT})(v_{пр1}^{MT} \neq v_{пр2}^{MT})(m_{пр1}^{MT} \neq m_{пр2}^{MT}).$$

Для получения набора альтернативных вариантов алгоритм определяет множество Парето. Если имеется конечное число альтернатив a_1, \dots, a_n , то для получения множества Парето необходимо сравнить каждый элемент векторного критерия $C(a_j)$ с $C(a_k)$, т.е. определить справедливость неравенства $C(a_j) \geq C(a_k)$, где $j = 1..n, k = 1..n$ и $j \neq k$. Если это неравенство выполняется, то альтернатива a_k не может быть оптимальной по Парето.

Проанализировав аналогичным образом все возможные пары альтернатив можно получить Парето-оптимальное множество решений $Pa_c(A)$. На основе Парето-оптимального множества решений алгоритм проводит свертку критериев или анализ иерархий в зависимости от предпочтения инженера-технолога.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ В.Д. НОГИНА

Применением метода анализа иерархий для определения наиболее подходящей альтернативы из базы данных станочных приспособлений требует участие эксперта в оценивании степени относительной важности каждого из критериев.

При выполнении условия однородности критериев каждому критерию можно приписать некоторый положительный вес $\omega_i > 0$, характеризующий относительную важность критерия. Совокупность весов для всех критериев образует вектор $W = (\omega_1, \dots, \omega_m)$, где m – количество критериев. Сумма всех весов должна равняться 1, т.е. $(\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_m) = 1$. Оценка относительной важности критериев обычно проводится по шкале $O = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$, представленной в табл. 1 [4].

Согласно методу анализа иерархий для определения весовых критериев берется матрица парных сравнений. Пример заполнения приведен в табл. 2. В отличие от метода Саати [5] эксперт определяет первую строку парных сравнений путем оценки важности одного критерия относительно другого по шкале из табл. 1. Остальные компоненты вычисляются по формуле:

Таблица 1. Шкала оценки критериев.

Степень важности	Определение
1	Одинаковая значимость
3	Некоторого преобладание одного критерия над другим
5	Существенная или сильная значимость
7	Очень сильная или очевидная значимость
9	Абсолютная значимость
2,4,6,8	Промежуточные значения

Таблица 2. Матрица парных сравнений

№	Габариты детали			Материал v_4	Точность обработки v_5	Базирование на поверхности двойной кривизны v_6
	Длина v_1	Ширина v_2	Высота v_3			
Длина v_1	1,00	4,00	6,00	3,00	4,00	1,00
Ширина v_2	0,25	1,00	1,50	0,75	1,00	0,25
Высота v_3	0,17	0,67	1,00	0,50	0,67	0,17
Материал v_4	0,33	1,33	2,00	1,00	1,33	0,33
Точность обработки v_5	0,25	1,00	1,50	0,75	1,00	0,25
Базирование на поверхности двойной кривизны v_6	1,00	4,00	6,00	3,00	4,00	1,00

$$v_{ij}^* = \frac{v_{1j}^*}{v_{1i}^*}, \quad (1)$$

где v_{ij}^* – парное сравнение по столбцу j и строке i .

Далее производится вычисление ненормализованных весов ω_i^* , где v_{in} – элемент матрицы парных сравнений:

$$\omega_i^* = (v_{i1} * v_{i2} * \dots * v_{in})^{\frac{1}{n}}, \quad i = 1..n. \quad (2)$$

Нормализация весов для расчета вектора W осуществляется при помощи выражения:

$$\omega_i = \frac{\omega_i^*}{\sum_{j=1}^n \omega_j^*}. \quad (3)$$

В случае если эксперт отдает предпочтение составлению полной карты парных сравнений и не использует формулу $v_{ij}^* = v_{1j}^*/v_{1i}^*$, то проводится проверка согласованности локальных приоритетов путем расчета собственных значений матрицы, индекса согласованности и отношения согласованности [5].

В случае, если отношение согласованности $\leq 10-15\%$, то требуется пересмотр матрицы парных сравнений или переход к упрощенной методике анализа иерархий В.Д. Ногина.

Далее проводится попарное сравнение альтернативных вариантов по каждому из критериев. При этом максимальная разница между вариантами по каждому из критериев определяется автоматически и может составлять значение от 1 до 5. Согласно общепринятой шкале Саати

целесообразно привести отношение весов по каждому из критериев к шкале от 1 до 9 и изменить направление значимости шкалы (табл. 3).

Ввиду практической сложности вычисления большого количества данных в ручном режиме, матрица парных сравнений по каждому из критериев строится системой автоматически на основе заранее заданных экспертных оценок. Аналогично формуле 2 системой вычисляются векторы нормализованных весов по каждому критерию для Парето-оптимального множества альтернатив $Pa_c(A)$ и на основе полученных данных определяется основной вектор нормализованных весов [5].

Расчет обобщенного индекса совместимости (ОИС) и обобщенного отношения согласованности (ООС) вычисляется в случае, если эксперт предпочел ручной тип заполнения данных по методу Саати. Для всех случаев ручного определения матриц парного сравнения показатель ИС и ОИС не должно превышать 10-15% в ином случае матрицу парного сравнения необходимо пересматривать [5].

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ СВЕРТКИ КРИТЕРИЕВ

Метод анализа иерархий требует участие эксперта для составления матрицы парных сравнений. Упрощенный метод анализа иерархий Ногина

Таблица 3. Таблица приведения шкалы аддитивной свертки к шкале Т.Л. Саати

Шкала аддитивной свертки	1	2	3	4	5
Приведенная шкала Саати	9	7	5	3	1

снижает трудоемкости работы эксперта, но остается достаточно сложным для понимания рядовому специалисту, поэтому в качестве альтернативы в АСППР было решено взять несколько методов свертки критериев: метод линейной свертки, метод мультипликативной свертки, метод идеальной точки и метод рандомизированной стратегии.

В качестве примера работы алгоритма рассмотрим метод линейной свертки. Метод линейной свертки имеет вид:

$$C(a) = \sum_{i=1}^n \omega_i C_i(a). \quad (4)$$

В формуле (4) ω_i – нормализованный вес критерия, n – количество критериев и $\omega_1 + \dots + \omega_n = 1$. Решение $a^* \in A$ является наилучшим, если для всех $a \in A$ выполняется условие $C(a^*) \geq C(a)$.

Ненормализованные весовые коэффициенты ω_i^* определяются на основе оценок пяти экспертов согласно шкале $O_i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$. Результат оценки экспертов вычисляется по формуле:

$$\omega_i^* = \sqrt[5]{\omega_i^1 * \omega_i^2 * \omega_i^3 * \omega_i^4 * \omega_i^5}. \quad (5)$$

Далее проводится нормализация каждого веса ω_i по формуле:

$$\omega_i = \frac{\omega_i^*}{\sum_{j=1}^n \omega_j^*}. \quad (6)$$

Экспертом должно быть задано ограничение L_a^1 , если $C(a^3) - C(a^*) < L_a^1$, то a^* принимается в качестве допустимого решения, в противном случае допустимого решения в базе данных нет.

В случае нахождения нескольких допустимых альтернативных станочных приспособлений проводится определение вероятности случайных величин трудоемкости проектирования и изготовления станочных приспособлений.

ВЫВОДЫ

Разработанный алгоритм прогнозирования трудоемкости проектирования и изготовления станочных приспособлений позволяет повысить точность принятого решения по выбору технологической оснастки и сократить издержки от нерационального использования ресурсов при технологической подготовке производства. Инженер-технолог при работе с АСППР имеет возможность провести оценку экономических показателей будущего станочного приспособления, как по существующим справочникам, так и по опыту работы всего авиастроительного предприятия. Важную роль в работе алгоритма прогнозирования трудоемкости проектирования и изготовления станочных приспособлений имеет полнота базы данных. В процессе опытно-промышленной эксплуатации АСППР предполагается произвести первоначальное наполнение базы силами разработчика и апробацию алгоритмов принятия решения на ее основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн В.Ю., Клепцов А.А. Проектирование технологической оснастки: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2011. 224 с.
2. Полянсков Ю.В., Гисметулин А.Р., Блюменштейн А.А. Разработка системы автоматизированного проектирования универсально-сборных приспособлений // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2013. № 3 (26). С. 30-33.
3. Розен В.В. Математические модели принятия решения в экономике. Учебное пособие. М.: Книжный дом «Университет», Высшая школа, 2002. 288 с.
4. Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев // Журн. вычислит. матем. и математич. физ. 2004. Т. 44. №7. С. 1259-1268.
5. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 311 с.

AUTOMATION OF THE FORECASTING PROCESS LABORIOUSNESS DESIGNING AND MANUFACTURING OF MACHINE RETAINING DEVICES FOR MACHINING OF AIRCRAFT PARTS

© 2016 Yu.V. Polyanskov, I.V. Lutoshkin, A.A. Blyumenshteyn

Ulyanovsk State University

The method of automated forecasting of the laboriousness of designing and manufacturing machine retaining devices is developed, using the analytic hierarchy process Saaty, simplified analytic hierarchy process Nogin and method of multi-criteria optimization.

Keywords: automated decision support system, machining, machine tool devices, technological preparation of production.

Yuriy Polyanskov, Doctor of Technics, President of Ulyanovsk State University, Director of Competence Center "AviationTechnology and Aviation Mobility" ULSU.
E-mail: president@ulsu.ru.

Igor Lutoshkin, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Head at the of Economic and Mathematical

Methods and Information Technologies Department.
E-mail: Lutoshkiniv@ulsu.ru

Alexey Blyumenshteyn, Associate Research Fellow at the of Mathematical Modeling of Technical Systems Department, Head of laboratory DSAS of the Science Research Centre for CALS-Technology USLU. E-mail: blyumenshteyn@mail.ru