

Экономика, организация и менеджмент на предприятии

УДК 658.5

Многофакторный подход к выбору технологического обеспечения производственного процесса для предприятий машиностроительного комплекса

А.Е. Бром, В.А. Шутеев

Раскрыты факторы, влияющие на значения конкурентоспособности продукции машиностроительной отрасли. Представлен многофакторный подход к выбору технологического обеспечения производственного процесса для предприятий машиностроительного комплекса с учетом стратегических приоритетов.

Ключевые слова: машиностроительная отрасль, производство, технологическое обеспечение, конкурентоспособность технологической подготовки производства.

Multivariate approach to choose optimal technological support for machine-building complex

A.E. Brom, V.A. Shuteev

The article reveals the factors affecting the competitiveness of the machine-building industry production. A multivariate approach to choose the optimal technological support with due consideration of strategic priorities for machine-building complex is presented.

Keywords: machine-building industry, production, technological support, competitiveness expert system preproduction planning.



БРОМ
Алла Ефимовна
профессор
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

BROM
Alla Efimovna
Professor
(MSTU named
after N.E. Bauman)



ШУТЕЕВ
Вячеслав Андреевич
аспирант
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

SHUTEEV
Vyacheslav Andreevich
post-graduate
(MSTU named
after N.E. Bauman)

В настоящее время рынки высокотехнологичных изделий машиностроительной отрасли требуют от каждого предприятия адаптации к требованиям заказчика и выполнения в кратчайшие сроки специализированных заказов. Кроме того, современные экономические условия и высокая конкуренция на рынках готовой продукции заставляют предприятия бороться за заказы на производство определенных узлов, деталей и комплектующих. На сегодняшний день можно выделить следующие параметры, определяющие конкурентоспособность машиностроительной продукции: качество производимой продукции, время выполнения процесса и себестоимость производимой операции (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, определяющие конкурентоспособность изделия предприятия машиностроения

После разработки каждого изделия на предприятии осуществляется технологическая подготовка производства (ТПП). Задача ТПП — обеспечение полной технологической готовности предприятия к производству новых изделий с заданными технико-экономическими показателями. На этой стадии устанавливается, при помощи каких технических методов и средств, способов организации производства должно изготавливаться данное изделие, окончательно определяется его себестоимость и эффективность производства. Такая технология разрабатывается как для каждого нового изделия, так и для традиционной продукции с целью повышения технического уровня и снижения издержек производства, улучшения условий труда, охраны окружающей среды [3].

Как известно, многооперационность и большое разнообразие технологических процессов, применяемых при изготовлении деталей и сборочных единиц, отличают машиностроительные и приборостроительные предприятия от

других отраслей хозяйственной деятельности. Поэтому определение оборудования, которое позволит лучшим образом выполнить заданные технологические операции, является важной задачей. При этом в настоящее время существует большое разнообразие оборудования для выполнения определенного типа операций.

Для выбора технологического обеспечения предложен подход, основанный на построении таблицы соответствий (ТС). Таблица такого вида позволяет простым образом отображать большое количество сложных данных, описывающих разные характеристики, в компактном виде. Назначение ТС заключается в выборе оптимального варианта из нескольких возможных. Структура такой таблицы представлена на рис. 2.

Технология выполнения операции	Множество условий $X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ — вектор входных параметров
Множество возможных решений $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_M\}$ — вектор выходных параметров	Связь между условиями и решениями

Рис. 2. Структура таблицы соответствия

В таблице соответствий имеются три области разного вида и функций.

В левой части таблицы представлено множество возможных решений. Для задачи выбора оптимальной технологии выполнения заданной технологической операции множеством возможных решений является множество технологий. Например, для задачи резания материалов: лазерная резка, плазменная резка, гидро-абразивная резка, механическая резка. Другими словами каждая строка таблицы будет соответствовать одной определенной технологии.

В правой верхней части ТС приведено множество условий, представляющее различные характеристики обрабатываемого материала и получаемого изделия, влияющее на выбор решения. Примером таких характеристик могут быть: тип материала, толщина материала, качество получаемого изделия. Для указанных выше характеристик представлены возможные значения, которые могут принимать данные характеристики, сгруппированные рациональным образом. Примерами групп значений для качественной характеристики может быть тип материала: сталь, дерево, резина, а для число-

вой — интервалы значений, например, толщины: менее 5 мм; от 5 до 20 мм; от 20 до 200 мм; более 200 мм. Для задачи выбора оптимальной технологии примером множества условий может служить следующее множество: тип материала (сталь, дерево, резина), свойства материала (взрывоопасно, пожароопасно, непожароопасно), толщина материала (множество интервалов толщин материалов), качество получаемого изделия (множество числовых параметров шероховатости получаемого изделия). Другими словами каждый столбец таблицы будет соответствовать одному определенному качественному или числовому значению характеристики, описывающей обрабатываемый материал или получаемое изделие.

В правой части таблицы — клетки матрицы соответствий — с помощью численных значений отмечают наличие связей между значениями условий и решениями. Если связь существует, то в пересечении столбца и строки будет стоять численное значение, в противном случае значение будет отсутствовать. Каждая строка ТС соответствует одной из альтернативных технологий, рассматриваемых в задаче, столбцы соответствуют группам характеристик обрабатываемого материала или получаемого изделия. Если для какого-то значения признака X_i существует решение из множества Y , то клетка ТС в пересечении соответствующих столбца и строки заштриховывается. Поле таблицы с заштрихованными и незаштрихованными клетками называется ее графиком G и представляет существующие связи между множеством исходных данных для проектирования X и множеством возможных решений Y . Возможные решения представляют пересечения этих множеств.

Поскольку при одних и тех же исходных данных может существовать несколько альтернативных решений, то вводится понятие эффективности каждого из них, которая определяется группой экспертов по специальной методике и обозначается баллами эффективности. Эти баллы определяются для каждого сочетания значений исходных данных. Решение заносится в ТС в соответствующую клетку графика. Баллы являются безразмерными величинами, показывающими насколько эффективно данная технология применима при указанных исходных данных. Значения полей ТС принимают значения

в отрезке $[0, 1]$, где 1 означает наиболее эффективное решение на данный момент, а 0 — неприемлемость рассматриваемой технологии для решения данной задачи.

Для принятия решений по технологической подготовке производства используется база знаний. Содержанием базы знаний являются знания, полученные обработкой экспертных мнений группы специалистов-экспертов о функциональных связях между исходными данными и возможными решениями. Эти данные представлены в виде плоских реляционных таблиц, или ТС, так как они представляют связи между множествами, известные в теории множеств как соответствия.

Выбор технологий на основе ТС осуществляется следующим образом (табл. 1). На основе графика G выбираются те технологии, которые удовлетворяют основным требованиям на обработку. Для этого пересечения строк данных технологий со столбцами, обозначающими параметры текущего материала, должны быть заштрихованы и иметь числовое значение. Далее, на основе значений в пересечении строк и столбцов и весовых коэффициентов, найденных экспертным методом, для каждого решения определяется балл g_y^{cp} (как комбинация значений соответствующих клеток ТС и коэффициентов приоритета характеристик заказа, найденных экспертным методом):

$$g_y^{cp} = \sum_{i=1}^T v_{iy} \lambda_i \varepsilon_{iy},$$

где v_{iy} — значение поля таблицы; λ_i — коэффициент приоритета соответствующей характеристики заказа; ε_{iy} — булева переменная соответствующей характеристики заказа (принимает значение 1 в случае, если значение характеристики обрабатываемого материала или выходного изделия принадлежит i -й группе этих характеристик, и 0 в противном случае); T — число условий в матрице соответствия.

При наличии нескольких возможных альтернативных решений из них выбирается имеющее наибольший балл эффективности g_y^{cp} . Так предварительно выбирается технология для выполнения заданной технологической операции. Остальные технологии ранжируются по значению g_y^{cp} . Мы получаем, что из всего количества технологий определены те, которые

Таблица соответствия типа «условия выбора технологии детали — технология обработки»

	Условие 1			Условие 2				...	Условие N				Сумма
	1	2	3	1	2	3	4		1	2	3	4	
T1	A1	A2	A3		A5	A6			A10	A11	A12	A13	
T2	B1			B4	B5	B6	B7		B10	B11	B12	B13	$Z = B1 * P1 + B7 * P2 + \dots + B10 * P3$
...	
T M-1	W1	W2	W3			W6	W7		W10				$Z = W1 * P1 + W7 * P2 + \dots + W10 * P3$
T M	Z1	Z2								Z11	Z12		

Примечание. Условия = {Условие₁, Условие₂, ..., Условие_N} — вектор входных параметров;
 T = {T₁, T₂, ..., T_M} — вектор выходных параметров (технологий);
 N — количество условий, влияющих на выбор технологии выполнения определенной технологической операции;
 M — количество технологий для выполнения определенной технологической операции;
 P = {P₁, P₂, ..., P_N} — вектор значений приоритетов по соответствующим условиям.

могут быть использованы при данных начальных условиях и ранжированы (поставлены в последовательность) по значению z_y^{cp} .

Итак, определены технологии, которые будут использоваться в дальнейшем рассмотрении для выбора технологического обеспечения. На основе этого подхода возможно осуществить выбор режимов обработки.

Для выбора режима обработки используется вид ТС, представленный в табл. 2. Поскольку известны требуемые параметры получаемого изделия, а также данные параметры для каждого режима обработки, для каждого режима можно определить его соответствие заданным. Соотношение задается отношением требуемого значения параметра к тому, который может быть обеспечен данным режимом обработки. Данное значение может быть больше 1, если улучшение значения выражается в минимизации значения числового параметра. Для каждого режима обработки определяется средний балл z_y^{cp} :

$$z_y^{cp} = \sum_{i=1}^M v_{iy} \lambda_i \varepsilon_{iy},$$

где v_{iy} — значение поля таблицы; λ_i — коэффициент приоритета соответствующего технологического параметра; ε_{iy} — булева переменная соответствующей характеристики заказа (принимает значение 1 в случае, если значение характеристики обрабатываемого материала или выходного изделия принадлежит i -й группе этих характеристик, и 0 в противном случае); M — число строк матрицы соответствия — количество рассматриваемых режимов обработки.

Из всех возможных альтернатив решений выбирают имеющее наибольший балл эффективности z_y^{cp} . Остальные ранжируются по значению z_y^{cp} .

Таким образом определяется оптимальная технология и ее режим обработки для выполнения заданной технологической операции.

Данный подход применим для каждой технологической операции в рамках технологического процесса. Как показано выше, выбор технологии обработки и режим обработки для выполнения технологической операции осуществляется на основе анализа экспертных данных по технологиям, теоретических зависимостей и эмпирических данных по режимам обработки, приоритетов характеристик заказа и приоритетов технологических параметров. Решение определяется на основе максимального значения балла эффективности. Поэтому выбор технологий может отличаться у двух производственных предприятий при поступлении идентичных заказов, если значения приоритетов различны. Изменение данных коэффициентов влияет на значения g_y^{cp} и z_y^{cp} и порядок (последовательность) применимости технологического обеспечения.

Необходимо отметить, что экспертным методом должны определяться не только характеристики технологий (например, невозможность использования пожароопасных материалов), но и приоритеты каждого из параметров, рассматриваемых при решении задачи. Приоритеты характеристик заказов определяются на основе выбранной стратегии развития предприятия

Таблица соответствия типа «Параметр изделия — Режим обработки»

	Параметр изделия 1	Параметр изделия 2	...	Параметр изделия №	Сумма
Режим обработки 1	$v_{11} = \frac{v_1^*}{v_1^1}$	$v_{21} = \frac{v_2^*}{v_2^1}$		$v_{N1} = \frac{v_N^*}{v_N^1}$	$Z_1 = v_{11}P_1 + v_{21}P_2 + \dots + v_{N1}P_N$
...	
Режим обработки M	$v_{1M} = \frac{v_1^*}{v_1^M}$	$v_{2M} = \frac{v_2^*}{v_2^M}$		$v_{NM} = \frac{v_N^*}{v_N^M}$	$Z_M = v_{1M}P_1 + v_{2M}P_2 + \dots + v_{NM}P_N$

Примечание. Параметры изделия = {Параметр изделия₁, Параметр изделия₂, ..., Параметр изделия_N} — вектор входных параметров; Режимы обработки = {Режим обработки₁, ..., Режим обработки_M} — вектор выходных параметров; N — количество параметров изделия, влияющих на выбор режима обработки технологической операции; M — количество режимов обработки данной технологии; v_i^{*} — значение требуемого параметра изделия i; v_j^L — значение параметра изделия j, которое обеспечивает режим обработки L; P = {P₁, P₂, ..., P_M} — вектор значений приоритетов по соответствующим параметрам изделия.

и текущей ситуации (специфики заказа), а отвечают за их значения сотрудники планового отдела и руководство компании. Приоритеты технологических параметров определяются инженерами-технологами на основе требований к выполнению заказа (требования к каждой технологической операции) и стратегических приоритетов (приоритетов технологических параметров) [4]. Задание указанных приоритетов определит получаемые решения.

Значения клеток в табл. 2 определяются следующим образом:

$$v_{iy} = \frac{v_i^N}{v_i^y},$$

где v_i^N — оптимальное значение параметра обработки i для данной технологической операции; v_i^y — значение параметра обработки i-го режима обработки у для данной технологической операции.

Таким образом, значение v_{iy} всегда положительное и может быть как больше, так и меньше 1. Значение v_{iy} > 1 свидетельствует о том, что текущий режим обработки не может обеспечить заданное значение параметра, при v_{iy} < 1, наоборот, даже превосходит его. В зависимости от рассматриваемого технологического параметра, оптимальное значение может быть min (v_{ij}^{j=1...M}), или, наоборот, max (v_{ij}^{j=1...M}). Примером первого случая служит удельная себестоимость резания, руб/м², примером второго — скорость резания, м/с. Соответственно, при вычислении суммарной «эффективности» технологии в линейной комбинации значений

технологий и приоритетов характеристик заказов/технологических параметров может стоять как прямое значение v_{iy}λ_i, так и обратное:

$$\lambda_i \frac{1}{v_{iy}},$$

где λ_i — коэффициент приоритета соответствующего технологического параметра или характеристики заказа; v_{iy} — значение, указанное в соответствующей клетке ТС.

Рассмотрим пример определения g_y^{cp} для ТС, представленной на рис. 3. Необходимо выбрать технологии для технологической операции, которая характеризуется тем, что значение Условия 1 попадает в группу 2, а значение Условия 2 — в группу 3.

Как видно на рисунке, по графику G для данного заказа существует два решения: технология 1 и технология 3: ε₁ = ε₂ = 1. Рассмотрим два варианта значений приоритетов характеристик заказа.

1. Приоритет условия 1 равен 1, а приоритет условия 2 равен 2: λ₁ = 1, λ₂ = 2. Рассчитаем значение балла эффективности для каждой из технологий:

$$g_1^{cp} = \sum_{i=1}^2 v_{i1} \lambda_i \varepsilon_i = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 + 0,1 \cdot 2 \cdot 1 = 1;$$

$$g_3^{cp} = \sum_{i=1}^2 v_{i3} \lambda_i \varepsilon_i = 0,3 \cdot 1 \cdot 1 + 0,41 \cdot 2 \cdot 1 = 1,12.$$

Соответственно, осуществляется выбор технологии 3 для выполнения заданной технологической операции.

2. Приоритеты условий 1 и 2 равнозначны, т. е. $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$. Вычислим значение балла эффективности для каждой из технологий:

$$g_1^{cp} = \sum_{i=1}^2 v_{i1} \lambda_i \varepsilon_i = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9;$$

$$g_3^{cp} = \sum_{i=1}^2 v_{i3} \lambda_i \varepsilon_i = 0,3 \cdot 1 \cdot 1 + 0,41 \cdot 1 \cdot 1 = 0,71.$$

Соответственно, осуществляется выбор технологии 1 для выполнения заданной технологической операции.

По схожей методике рассматривается ТС режимов обработки победившей технологии и определяется наиболее оптимальный режим для осуществления выбранной технологической операции.

Пример иллюстрирует выбор различных технологий в зависимости от значений приоритетов характеристик заказа.

Таким образом, рассмотренный многофакторный подход к выбору технологического обеспечения производственного процесса с использованием ТС может быть реализован в виде модуля автоматизированной системы технологической подготовки производства, позволяющий автоматизировать процесс выбора технологического оборудования для предприятий машиностроительной отрасли. Таблицы соответствия формируются для технологий на основе экспертной оценки инженеров-технологов, значения ТС для режимов обработки формируются на основе эмпирических данных по режимам обработки и теоретических зависимостей. Приоритеты характеристик заказа и технологических параметров определяются группой экспертов (плановым отделом, руководством предприятия и инженерами технологами, соответственно). Многофакторный подход значи-

	Условие 1			Условие 2				
	1	2	3	1	2	3	4	5
Технология 1	0,1	0,8	0,8		0,2	0,1		
Технология 2	0,9			0,1	0,39	0,53	0,17	
Технология 3	0,15	0,3	0,6			0,41	0,28	0,35
Технология 4	0,25	0,9						0,43

Рис. 3. Пример ТС для заданной технологической операции

тельно облегчает процесс принятия решения при выборе технологического оборудования и режимов обработки в системе планирования и организации процессов технологической подготовки производства.

Литература

1. *Абрамов А.А.* Моделирование информационных процессов в системе управления промышленного предприятия. М.: Изд-во МАИ, 1997. 130 с.
2. *Калянов Г.Н.* Консалтинг при автоматизации предприятий: Подходы, методы, средства. М.: СИНТЕГ, 1997. 316 с.
3. *Колесов И.М.* Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 2001. 591 с.
4. *Кузнецов В.А., Черепакхин А.А., Колтунов И.И., Пыжов В.В.* Технологические процессы машиностроительного производства. М.: ФОРУМ, 2010. 528 с.
5. *Новиков Д.А.* Теория управления организационными системами. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 584 с.

References

1. *Abramov A.A.* *Modelirovanie informatsionnykh protsessov v sisteme upravleniia promyshlennogo predpriatiia* [Modeling of information processes in the management of industrial enterprises]. Moscow, MAI publ., 1997. 130 p.
2. *Kalianov G.N.* *Konsalting pri avtomatizatsii predpriatii: Podkhody, metody, sredstva* [Consulting for business automation: Approaches, methods, tools]. Moscow, SINTEG publ., 1997. 316 p.
3. *Kolesov I.M.* *Osnovy tekhnologii mashinostroeniia* [Fundamentals of Mechanical Engineering]. Moscow, Higher school Publ., 2001. 591 p.
4. *Kuznetsov V.A., Cherepakhin A.A., Koltunov I.I., Pyzhov V.V.* *Tekhnologicheskie protsessy mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Technological processes of engineering production]. Moscow, FORUM publ., 2010. 528 p.
5. *Novikov D.A.* *Teoriia upravleniia organizatsionnymi sistemami* [Control theory of organizational systems]. Moscow, FIZMATLIT publ., 2007. 584 p.

Статья поступила в редакцию 05.10.2012

Информация об авторах

БРОМ Алла Ефимовна (Москва) — профессор кафедры «Промышленная логистика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: abrom@yandex.ru).

ШУТЕЕВ Вячеслав Андреевич (Москва) — аспирант кафедры «Промышленная логистика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: aspirant.mgtu@gmail.com).

Information about the authors

BROM Alla Efimovna (Moscow) — Professor «Industrial Logistics» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia, e-mail: abrom@yandex.ru).

SHUTEEV Vyacheslav Andreevich (Moscow) — post-graduate «Industrial Logistics» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia, e-mail: aspirant.mgtu@gmail.com).