

## РАЗДЕЛ 5

### Моделирование и оптимизация элементов технологической системы

УДК 621.9.025

**Мироненко Е.В., Васильева Л.В.**

ДГМА, г. Краматорск, Украина

#### **К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕСОМОСТИ КРИТЕРИЕВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ**

*In clause the question of improvement of a technique of statistical examination for definition of importance of criteria is considered by optimization of a choice of the cutting tool and modes of cutting.*

#### **Введение**

В технике, как и в других областях деятельности, существует множество проблем, связанных с установлением параметров путем экспертных оценок. Под экспертными методами [1] понимаются формальные и неформальные процессы принятия решений на основе обобщенного опыта специалистов. Достоверность анализа и получаемых оценок существенным образом зависит от совершенства методик опроса экспертов, их компетентности, а также обработки и анализа полученных данных. Анализ показывает, что наиболее типичными задачами, решаемыми экспертными методами, являются: построение структурной схемы показателей качества продукции; определение коэффициентов весомости показателей качества; определение комплексных показателей качества продукции; аттестация качества продукции.

Разработано достаточно большое число экспертных методов [1]: индивидуальные (устные интервью, письменные интервью, морфологический анализ, метод сценариев); комбинированные (метод Дельфи); коллективные (экспертиза без взаимодействия экспертов, экспертиза с взаимодействием экспертов, метод отнесенной оценки, метод комиссий).

Ценность экспертной оценки качества состоит не только в том, что она позволяет предварительно отобрать несколько лучших конструкций для разработки чертежей и последующих испытаний, но и в том, что она указывает пути дальнейшей работы по повышению качества. Для обработки данных экспертизы имеются разработанные математико-статистические методы [2].

В применении к режущему инструменту экспертные методы неплохо себя зарекомендовали, хотя разработано пока мало конкретных рекомендаций. Но имеющиеся данные (к примеру, приведенные в [3,4]) подтвер-

ждают объективность экспертной оценки и возможность рассчитывать коэффициенты весомости свойств качества инструмента по известным условиям их эксплуатации.

Для случая чернового точения на крупных станках недостаточно проработан алгоритм экспертной оценки критериев оптимальности, отсутствует система аксиом для выбора представительного семейства критериев оптимальности.

### ***Основная часть***

Задача принятия решений при получении экспертной оценки может быть записана в виде:

$$\langle S_0, T, Q, S, A, B, f, K, Y^* \rangle,$$

где  $S_0$  - проблемная ситуация, известна;  $T$  - время для принятия решения, известно;  $Q$  - необходимые для принятия решения ресурсы и условия, известны;  $S$  - множество альтернативных вариантов решения;  $A$  - множество целей;  $B$  - множество ограничений;  $f$  - функция предпочтений эксперта;  $K$  - критерий выбора;  $Y^*$  - оптимальное решение.

В связи с необходимостью получить как можно более точные значения коэффициентов относительной важности критериев и отобрать необходимое число критериев для оптимизации режущего инструмента стоит важная проблема формализовать этот процесс и, если нельзя полностью избежать эвристических оценок, то дополнить их более точными и объективными оценками.

Для определения представительного семейства критериев (ПСК) при многокритериальной оптимизации параметров режущего инструмента для крупных токарных станков и режимов резания для крупных токарных станков использовались основные положения теории информации.

Количество информации определялось через энтропию. Вначале обосновывалось целесообразное число критериев в ПСК. Если начальная энтропия системы  $A$  равна  $H(A)$ , а после получения информации она составит  $H_*(A)$ , то внесенная информация составит  $J = H(A) - H_*(A)$ .

В данном случае система состоит из одного элемента - критерия, который может иметь  $m$  состояний ( $m$  - балльность шкалы). Требуется найти максимально возможную энтропию сложной системы, объединяющей  $n$  статистически независимых систем ( $n$ -количество критериев).

Число состояний каждой системы  $N=m$ . Для каждой системы  $H_{\max} = \log(m)$ . Энтропия сложной системы, объединяющей  $n$  статистически независимых систем, равна сумме энтропий этих систем

$$H_{\max} = \sum_1^n \log(m) = n \cdot \log(m). \text{ Т.к. } H_*(A)=0 \text{ (энтропия после получения ин-}$$

формации = 0), то количество информации в зависимости от числа критериев равно  $J(n) = n \log(m)$ .

Для комплекса статистически независимых систем (критериев) приращение количества информации  $\Delta \cdot J$  при увеличении числа критериев равно  $\Delta \cdot J = \frac{1}{n+1} \log(m)$ . Здесь  $\Delta$  - вклад  $(n+1)$  критерия в общее количество информации системы.

По полученным данным был построен график зависимости приращения количества информации от числа критериев (рисунок 1). Из него можно сделать вывод, что при малом числе свойств  $n$  каждое последующее свойство обеспечивает существенное приращение количества информации системы. С увеличением  $n$  это приращение уменьшается.

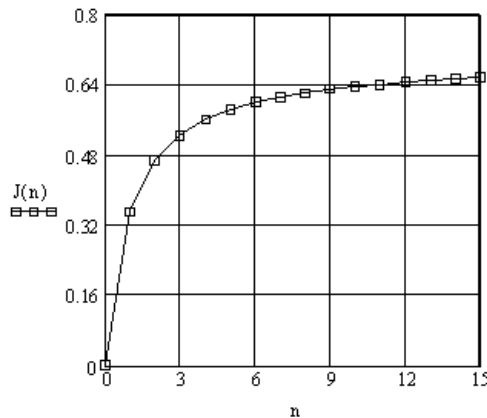


Рисунок 1 – Полученная зависимость приращения количества информации от числа критериев

Количественно величина изменения приращения количества информации оценивается первой производной

$$(\Delta \cdot J)' = \frac{\log(m)}{(n+1)^2}$$

Из графика (рисунок 2) видно, что с увеличением числа критериев более 6 приращение количества информации резко уменьшается (менее 0.5%), а при  $n > 9$  стремится к нулю. В то же время при малых  $n$  ( $n < 4$ ) это приращение велико (более 11%). С другой стороны, из литературных данных по психофизиологическим возможностям человека следует, что число критериев, которые может одновременно анализировать человек, составляет 4...8.

Предложенный способ определения количества критериев не учитывает их важности, но при расположении свойств в ранжированный ряд весомость каждого последующего свойства не превышает весомости предыдущих. С ростом числа свойств весомости количественное влияние на комплексный показатель исследуемого объекта последних критериев ранжированного ряда резко снижаются. Поэтому принимать число критериев

при оптимизации процесса резания и режущего инструмента более 5-8 нецелесообразно.

Для получения представительного семейства критериев для многокритериальной и многопараметрической оптимизации процесса механообработки предлагается следующая система критериев нулевого уровня:

1) Критерий полноты. Использование дополнительных критериев не меняет результаты, а отбрасывание хотя бы одного приводит к изменению результатов.

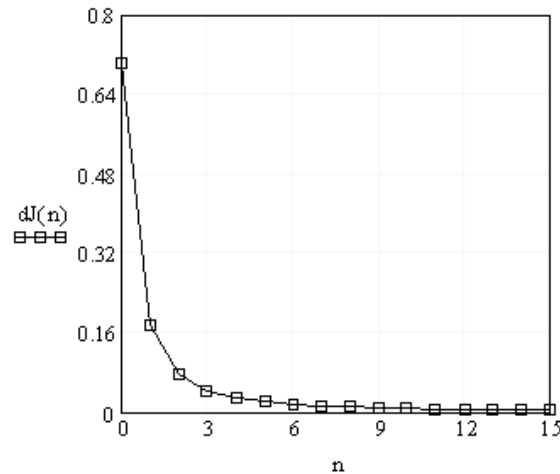


Рисунок 2 – Рассчитанная скорость приращения количества информации при увеличении числа критериев

2) Критерий минимальности. Набор должен содержать как можно меньшее число критериев.

3) Критерий операциональности. Каждый критерий должен иметь понятную формулировку, ясный и однозначный смысл, быть удобным для практических расчетов.

4) Критерий измеримости. Каждый критерий должен допускать возможность количественной оценки.

5) Критерий автономной информативности. Каждый критерий должен содержать возможно больше информации, не исчерпанной информацией, содержащейся в других критериях и не являющейся аддитивной по отношению к последней. Этот критерий имеет особое значение в связи с идеологией многокритериальности.

6) Критерий экономичности. Получение представительного семейства критериев должно требовать минимальных затрат.

Все методы определения структуры критериев, коэффициентов их весомости используют субъективную информацию, получаемую от экспертов и ЛПР. В связи с этим обоснование выбора метода связано с определенными трудностями. Методы, в которых доля формальных преобразований относительно велика, как правило, более надежны, но требуют и

большей работы эксперта. Использование методов, в которых эта доля мала, требует меньшего времени общения с экспертом, но большей его квалификационной подготовки. Обработка полученных данных в соответствии с формальными процедурами метода также обычно требует значительных затрат времени, что может оказаться существенным при подготовке оперативных решений, поэтому все рассматриваемые далее методы были реализованы на ПЭВМ.

Для того, чтобы найти приемлемый критерий оценки экспертных методов для режущего инструмента и провести с его помощью сравнение часто используемых при решении практических задач методов, были рассмотрены и проанализированы следующие методы: ранжирование, прямая оценка в баллах, метод парных сравнений, метод Черчмена-Акофа. К работе были привлечены пять высококвалифицированных экспертов, которые предоставляли информацию, необходимую для применения каждого из рассматриваемых методов.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. Несмотря на то, что метод Черчмена-Акофа требует наибольшего времени общения с экспертом ( $t_{cp} = 30$  мин), но это время вполне приемлемо, а средняя величина неопределенности системы критериев равна 1.003, что является наименьшим.

2. При равном времени общения с экспертом метод ранжирования дает меньшую величину  $N_{cp}$  по сравнению с методом балльной оценки.

3. Для уменьшения времени общения с экспертом для метода Черчмена-Акофа можно использовать его в паре с методом ранжирования. Алгоритм этого метода представлен на рисунке 3.

Был создан пакет программ EXPERT для проведения экспертной оценки критериев оптимизации режущего инструмента с помощью этого метода и опробован при проведении экспертизы для выбора и анализа критериев оптимальности для их использования инструментальным заводом.

С использованием результатов теоретического анализа, а также усовершенствованной методики экспертизы была осуществлена экспертная оценка для определения представительного семейства критериев оптимальности применительно к трем различным задачам многокритериальной оптимизации. Результаты экспертизы показали следующее (таблица 1).

В сжатом виде 3 рассмотренные ситуации можно характеризовать так:

1. Делать экономно, соблюдая и многие другие критерии.
2. Делать быстро, соблюдая экономию.
3. Обеспечить стабильное качество, соблюдая экономию и сроки поставки.

Представительные семейства критериев для этих ситуаций отмечены в таблице плюсами.

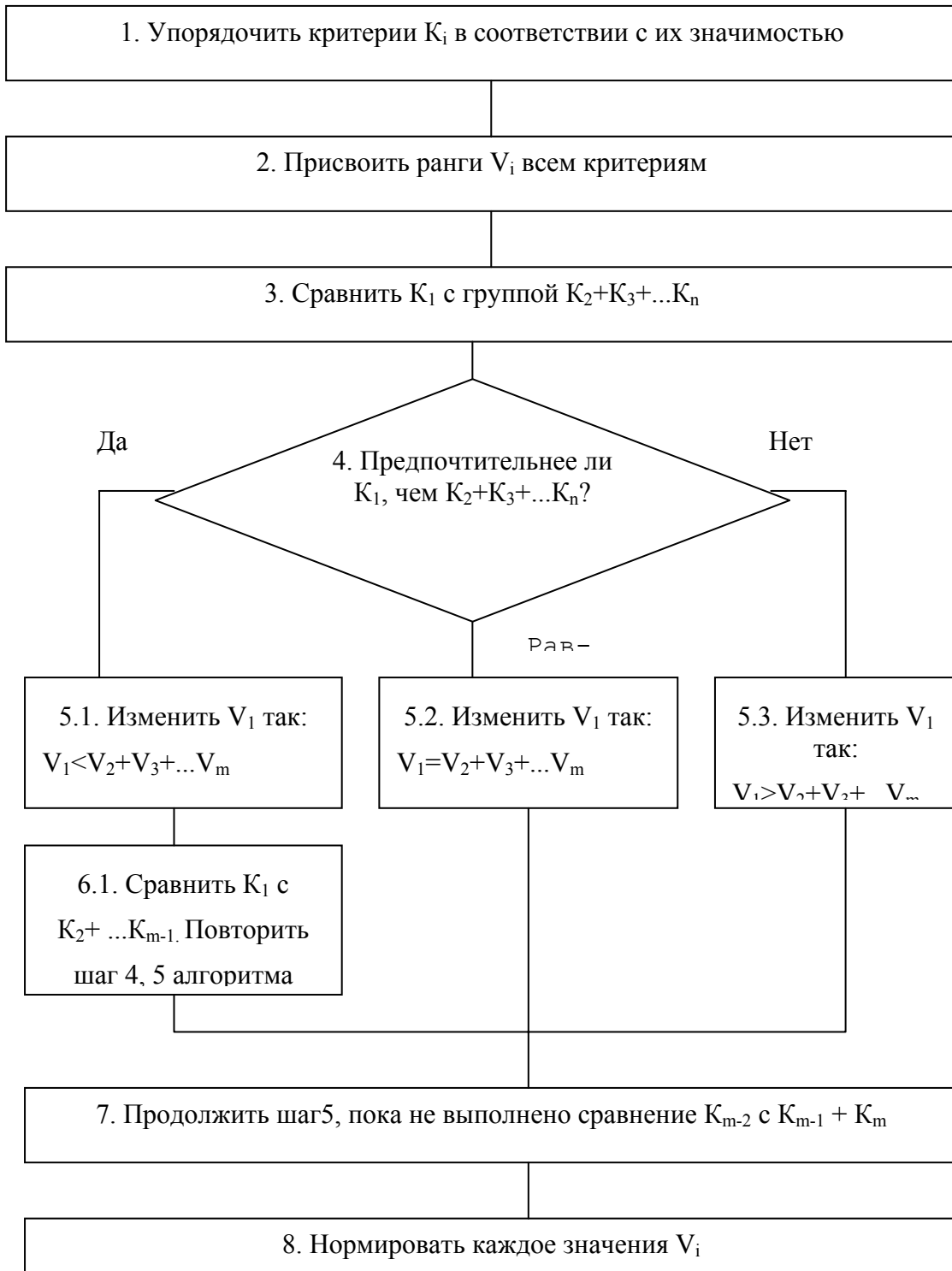


Рисунок 3 – Предложенный алгоритм оценки весомости критериев оптимальности

Таблица 1 – Весомость критериев оптимальности и выбор ПСК для постановки задачи оптимизации

Критерии оптимальности	Производственные и рыночные условия					
	Черновая обработка, поставка в страны СНГ, обычная стоимость заготовки				Чистовая обработка, поставки в дальн. заруб. Высокая стоим.загот.	
	Заказов мало		Заказов много		Эксп. вход оц. в ПСК	
	Эксп. оценка	вход в ПСК	Эксп. оценка	вход в ПСК		
Затраты А	0.3	+	0.3	+	0.3	+
Производительность $t_{шт}$	0.16	+	0.4	+	0.25	+
Напряженность тр. $H_p$	0.19	+	0.1	+	0.15	+
Расход сплава $R_c$	0.15	+	0.1	+		
Расход инстр-та $R_{и}$	0.12	+	0.05			
Стабильность W	0.08		0.05		0.3	+
Доп. ограничения Статьи расходов	$E_1$		$E_2$		$R_a$ $E_2$	

### Выводы

1. С помощью теории информации и, в частности, с использованием энтропийной оценки возможно определить рациональное число критериев оптимальности режущего инструмента и их информативность.

2. В качестве метода математико-статистической экспертизы применительно к определению весомости критериев режущего инструмента и их представительного семейства можно применить гибридный метод (метод Черчмена-Акофа в комбинации с ранжированием), дающий наименьшую величину неопределенности системы критериев.

3. Для формализации понятия “рациональный выбор” критериев оптимальности режущего инструмента целесообразно использовать критерии нулевого уровня.

4. Предложенные три группы критериев и функциональных ограничений отражают различные условия производства, цели работы и ее объекта и могут быть использованы при многокритериальной оптимизации.

### Литература

- 1 Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10-ти т. Т.7.- М.:Машиностроение, 1989.
- 2 Методология системного проектирования инструмента /Г.Л.ХаеТ, В.С. Гузенко, Е.А. Подгора и др.; Под общ. ред. Г.Л.ХаеТа. - Краматорск: ДГМА, 1994 - 132с.
- 3 Ивченко Т.Г. Совершенствование методики экспертной оценки качества режущего инструмента//Надежность режущего инструмента: Сборник статей. Вып.4 - Краматорск:КИИ,1991.
- 4 Сборный твердосплавный инструмент/ Г.Л.ХаеТ, В.М.Гах, Гузенко В.С. и др.- М.:Машиностроение,1989.