

А.Г. Ясев канд. техн.наук, проф., К.Г. Меженная асп.,  
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ОТКАЗА

---

*В статті сформульована та вирішена задача оптимізації параметрів режиму різання на основі використання лінійної поліноміальної залежності похибки обробки від елементів режиму різання. Отримані оптимальні параметри обробки для конкретного випадку.*

*In the article formulated and decided task of optimization of parameters of the mode of cutting on the basis of the use of linear polynomial dependence of error of treatment from the elements of the cutting mode. The optimum parameters of treatment are got for a concrete case.*

---

### **Постановка проблемы исследования**

Основным требованием к методам механической обработки является стабильное получение требуемых выходных параметров обработки, что связано с надежностью метода механической обработки. Качество осуществления метода зависит от качества элементов технологической системы, а также от условий, в которых эта система функционирует. Под основными условиями следует понимать параметры режима резания, которые должны обеспечивать стабильное получение заданных параметров обработки. Решение задачи оптимизации режимов резания позволит определить такое их сочетание, которое обеспечит получение заданной точности обработки при сохранении высокого уровня производительности.

Обычно при решении задачи оптимизации режимов резания целевой функцией является производительность обработки, т.е. машинное время на выполнение данной операции, а погрешность обработки выступает ограничением. В данном случае целесообразно решить задачу оптимизации параметров режима резания по критерию обеспечения заданного уровня точности обработки.

**Целью данной статьи** является постановка и решение задачи оптимизации режимов резания.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сформулировать задачу оптимизации, что включает в себя выбор критерия оптимизации и ограничений;
- решить задачу оптимизации графическим методом и методом, основанным на применении имитационного моделирования;
- сделать выводы о полученных результатах.

### **Формулировка задачи оптимизации**

Отказ метода механической обработки формулируется как выход технологического допуска за пределы конструкторского допуска на выполняемый размер. В основу математической модели отказа можно положить полиномиальную зависимость погрешности обработки от режимов резания, адекватность которой была

предварительно доказана [1]. Например, для конкретных условий обработки (чистового шлифования  $\varnothing 65h7(-0.046)$  детали золотник) эта зависимость имеет вид:

$$\Delta = 292,9292 \cdot t + 657.4378 \cdot S - 0.0733634 \cdot V - 2.868173 \quad (1)$$

Данная линейная модель была положена в основу решения задачи оптимизации режимов резания с целью повышения вероятности безотказной работы метода механической обработки (снижение вероятности получения брака). При решении данной задачи целевой функцией является погрешность обработки, которая стремится к минимуму. Оптимизируемыми переменными являются глубина резания и подача. Поскольку было выяснено, что связь между скоростью резания и погрешностью обработки является статистически незначимой для данного уровня значимости [1], принимаем значение скорости резания по технологическому процессу. В качестве ограничения принимаем машинное время обработки, которое не должно превышать штучное время на данную операцию  $T_{um} = 5,06$  мин.

Применим для решения задачи оптимизации два метода [2, 3]:

- графическое решение задачи линейной оптимизации;
- метод, основанный на применении имитационного моделирования.

#### **Решение задачи оптимизации графическим методом**

Для решения графическим методом необходимо уточнить формулировку задачи оптимизации. В данном случае для задания ограничения по машинному времени для метода линейной оптимизации необходимо построить линейную модель зависимости машинного времени обработки от глубины резания и подачи. Для этого были проведены дополнительные имитационные эксперименты, в которых факторы (глубина резания и подача) изменялись по двум уровням согласно таблице 1.

Таблица 1

Условия проведения полного трехфакторного эксперимента

Характеристика плана	t	S
Основной уровень	0,2±0,02	0,06±0,006
Интервал варьирования	0,2	0,04
Верхний уровень	0,3±0,03	0,08±0,008
Нижний уровень	0,1±0,01	0,04±0,004

$$\Delta = 292,9292 \cdot t + 657.4378 \cdot S - 2.868173 \rightarrow \min$$

$$t > 0,1; \quad S > 0,01 \quad (2)$$

$$T_m = 7,3656 - 12,555 \cdot t - 41.85 \cdot S \leq 5.06$$

В системе координат  $t/S$  наносим все ограничения в виде прямых линий, чтобы определить область допустимых решений:

$$t = 0,1 \quad S = 0,01 \quad 12,555 \cdot t + 41,85 \cdot S = 2,3056$$

После этого определяем направление градиента целевой функции. Градиент целевой функции - это вектор, составляющими которого являются первые частные производные от целевой функции по независимым переменным, устанавливающий, с одной стороны, направление наискорейшего движения к оптимуму, а с другой -

признак достижения оптимума (градиент равен нулю). Для построения градиента берем две точки, через которые он проходит: (0,0); (292,9292; 657,4378). Поскольку в данной задаче оптимизации необходимо отыскать минимум, то движение осуществляем в направлении, противоположном градиенту. Для движения по градиенту построена линия уровня  $L$ , которая направлена перпендикулярно градиенту. Перемещая линию уровня параллельно самой себе в направлении, противоположном направлению градиента, находим точку допустимой области, в которой линия уровня имеет с ней единственную общую точку. Координаты этой точки ( $t_{opt}$ ,  $S_{opt}$ ) будут являться искомым оптимальным сочетанием режимов обработки.

Из графика определяем  $t_{opt}=0,1$  мм  $S_{opt}=0,025$  мм/об.

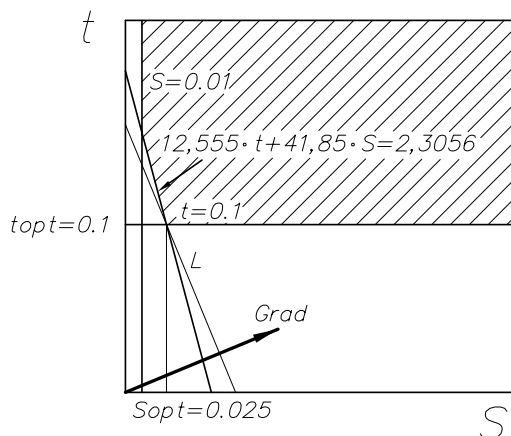


Рис. 1 – Графическое решение задачи линейной оптимизации

### Метод оптимизации, основанный на применении имитационного моделирования

Этот метод реализован при проведении имитационных экспериментов с помощью модели целевой функции (1). Для определения величин «шагов движения» ( $\Delta_i$ ) в направлении градиента целевой функции значения коэффициентов регрессии ( $b_i$ ) преобразуем с учетом интервалов варьирования ( $\Delta_{xi}$ ) по каждой независимой переменной (глубине резания и подаче) [2]:

$$\Delta_i = b_i \cdot \Delta x_i \quad (3)$$

При выполнении «движения в направлении градиента» (таблица 2) необходимо контролировать характер изменения целевой функции и соблюдение всех ограничений. Признаком достижения оптимума является снижение целевой функции (погрешности обработки), при этом ограничение (машинное время обработки) не должно превышать 5,06 мин.

Таблица 2

Ход и результаты оптимизации режимов резания

	Независимые переменные		Целевая функция	Ограничение
	t, мм	S, мм/об	$\Delta$ , мкм	$T_m$ , мин
Составляющие градиента целевой функции				
$b_i$	292.9292	657.4378		
$x_i$	0.2	0.04		
$\Delta_i = (b_i \cdot \Delta x_i) / 1000$	0.06	0.03		
Движение по градиенту				
1	0,3	0,08	137,6056	0,2511
2	0,24	0,05	100,3067	2,2599
3	0,18	0,02	63,00784	4,2687
4	0,12	0,02	45,43209	5,022

Согласно данному методу оптимизации оптимальными режимами обработки являются  $t_{opt}=0,12$  мм  $S_{opt}=0,02$  мм/об.

### **Выводы о результатах исследования**

1. Задача оптимизации режимов резания по критерию точности обработки решена двумя методами, которые дали близкие результаты. Оптимальные значения близки к тем, что применяются на практике. Это свидетельствует о правильности полученных результатов и о равноценности этих методов.

2. Недостатком в постановке данной задачи является наличие небольшого числа оптимизируемых параметров обработки, что обусловлено применением в качестве критерия оптимизации модели, полученной на основе имитационного моделирования. В дальнейшем необходимо в состав оптимизируемых факторов включить также параметры режущего инструмента, и решать задачу оптимизации по нескольким критериям, которые характеризуют выходные параметры обработки.

### **Список литературы**

1. Ясев А.Г., Меженная К.Г. Моделирование отказа метода механической обработки // Математическое моделирование. – 2007. - №2 (17) – С. 112-115.
2. Ясев А.Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении. – Днепропетровск: Днепр-VAL, 2001. – 237с.
3. Карманов В.Г. Математическое программирование. – М.: Наука, 1975. – 272с.

**УДК 621.43 : 517.9**

**К.М. Рудаков, д-р техн.наук, проф., С.В. Мороз**  
**НТУ України "Київський політехнічний інститут" м.Київ, Україна**

## **ЧИСЕЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ТЕРМОПЛАСТИЧНОСТІ З УРАХУВАННЯМ ИЗОТРОПНО-КІНЕМАТИЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ МАТЕРІАЛУ**

---

*Предложен численный алгоритм термопластичности с учетом изотропно-кинематического упрочнения изотропного материала. Используется итерационный процесс Ньютона для сбалансированного разделения деформаций на упругие, температурные и пластические деформации. Алгоритм универсален с точки зрения моделей с изотропно-кинематическим упрочнения.*

*The numerical algorithm of thermo-plasticity taking into account isotropic-kinematic hardening of an isotropic material is offered. Newton's iterative process for the balanced division of deformations into elastic, temperature and plastic deformations is used. The algorithm is universal from the point of view of models with isotropic-kinematic hardenings.*

---

### **Вступ**

Наявність необоротних (пластичних) деформацій обумовлює нелінійність крайової задачі. Тому система алгебраїчних рівнянь, яка буде виникати після алгебраїзації задачі, буде теж нелінійною і буде розв'язуватися певним ітераційним методом.