

УДК 621.9.014

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ТА КРИТЕРІЇ ОПТИМАЛЬНОСТІ

О.О. Богданов<sup>1</sup>, О.С. Захаров<sup>2</sup>, Н.В. Могильченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: [bohdanov.o.o@nmu.one](mailto:bohdanov.o.o@nmu.one)

<sup>2</sup>студент групи 131-21ск-1, e-mail: [zakharov.ol.s@nmu.one](mailto:zakharov.ol.s@nmu.one)

<sup>3</sup>студент групи 131-21ск-1, e-mail: [mohylchenko.n.v@nmu.one](mailto:mohylchenko.n.v@nmu.one)

<sup>1,2,3</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

**Анотація.** В роботі розглянуто оптимізаційну модель процесу механічної обробки. Приведені критерії оптимізації та цільові функції, які використовуються при розрахунках.

*Ключові слова:* оптимізація режимів різання, критерії оптимізації, режими різання, оптимальні параметри

## OPTIMIZATION OF CUTTING MODES AND OPTIMALITY CRITERIA

O. Bohdanov<sup>1</sup>, O. Zakharov<sup>2</sup>, N. Mohylchenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Associate Professor of the Department of Technology Engineering and Material Science, e-mail: [bohdanov.o.o@nmu.one](mailto:bohdanov.o.o@nmu.one)

<sup>2</sup>Student of group 131-19sk-1, e-mail: [zakharov.ol.s@nmu.one](mailto:zakharov.ol.s@nmu.one)

<sup>3</sup>Student of group 131-19sk-1, e-mail: [mohylchenko.n.v@nmu.one](mailto:mohylchenko.n.v@nmu.one)

<sup>1,2,3</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**Abstract.** The work considers the optimization model of the machining process. Optimization criteria and objective functions used in calculations are given.

*Keywords:* optimization of cutting modes, optimization criteria, cutting modes, optimal parameters

**Вступ.** Визначення оптимальних режимів різання – важливе техніко-економічне завдання машинобудування. Його значення зростає з широкою автоматизацією виробництв, впровадженням багатофункціональних обробних центрів та верстатів з ЧПК. Знаходження раціональних параметрів процесу різання при механічній обробці включає питання підвищення продуктивності, точності і якості одержуваних поверхонь. Крім того, від правильного призначення цих параметрів залежатиме собівартість обробки, витрата інструменту, надійність обладнання та експлуатаційні властивості деталей тощо.

Застосування верстатів із ЧПК дозволяє змінити звичний підхід до оптимізації технологічного процесу. На першому етапі призначалися економічні режими обробки, на другому – пошук відповідного устаткування. Сучасні

верстати з ЧПК допускають безступінчасте регулювання подачі та швидкості різання у широкому діапазоні. Це дає можливість на першому етапі проектування технологічного процесу визначити раціональніший тип обладнання, що дозволяє на наступних етапах приймати рішення на основі інформації про технічні можливості верстатів [1].

**Мета роботи** полягає в аналізі критеріїв оптимізації при визначенні оптимальних режимів різання.

**Матеріал і результат досліджень.** Оптимізація – це вибір такого варіанту керування процесом різання, при якому досягається екстремальне значення критерію, що характеризує якість управління. При цьому розділяють два поняття: критерій оптимізації та критерій оптимальності. Критерій оптимізації, або цільова функція – це критерій, який визначає якість управління процесом, а критерій оптимальності – його задана величина. Загалом завдання оптимізації представляється у вигляді

$$Q = \text{ext}[f_0(x, \omega)], x \in D \quad (1)$$

при технологічних обмеженнях

$$g(x, \omega) \leq 0; f(x) \leq 0; a_i \leq x_i \leq b_i \quad (2)$$

де  $f_0(x, \omega)$  – критерій оптимізації, що залежить від керованих  $x$  та постійних  $\omega$  параметрів процесу;  $D$  – область допустимих значень  $x$ ;  $a_i, b_i$  – постійні.

За своїм призначенням оптимізація буває: структурна – призначена для оптимальної побудови структури (послідовності) переходів та операцій при механічній обробці та параметрична – призначення оптимальних параметрів процесу різання. Залежно від поставленої мети оптимізація може бути одноцільовою, коли шукається екстремум однієї цільової функції, і багатокритеріальною при пошуку екстремуму кількох критеріїв оптимізації.

Наукові та практичні роботи з оптимізації режимів різання використовують раніше створені та нові емпіричні формули. Вони достатньою мірою відображають залежність змінних, що впливають на процес різання. У більшості випадків для створення математичної моделі механічної обробки достатньо мати:

- критерії оптимізації;
- цільову функцію;
- систему обмежень;
- систему рівнянь, що описують об'єкт;
- вхідні, вихідні та внутрішні параметри;
- керовані параметри.

Одне з найбільш поширених завдань – пошук оптимальних умов функціонування системи різання. Процедура пошуку складається з таких дій:

- встановлення меж технологічної системи, всередині яких можуть знаходитися експериментальні значення або формування набору технічних обмежень;

- визначення цільового кількісного критерію оптимізації або цільової функції, на основі яких можливо провести аналіз варіантів з метою визначення найкращого;

- побудова математичної моделі, яка відображає взаємозв'язки між змінними та являє собою сукупність рівнянь і нерівностей, що відображають цільову функцію та обмеження [1, 2].

Під час пошуку оптимальних режимів різання використовуються різні критерії економічного, технічного, фізичного та інформаційного характеру. Дані критерії можуть бути прийняті як фактори оптимізації, так і як обмежуючі умови. За наявності кількох критеріїв вибирають:

- адитивний критерій, якщо істотне значення мають абсолютні значення критеріїв при вибраному векторі параметрів  $X$ ;

- мультиплікативний критерій, якщо істотну роль відіграє зміна абсолютних значень часткових критеріїв при варіації вектора  $X$ ;

- максимінний (мінімаксний) критерій, якщо стоїть завдання досягнення рівності нормованих значень суперечливих (конфліктних) приватних критеріїв.

Обмеження можуть бути утворені елементами системи верстат-присутсування-інструмент-деталь, проявом характеристик (геометрії, кінематики, навантаження, зносу) або сукупністю змінних (силами різання, продуктивністю, періодом стійкості).

Найчастіше як критерій оптимальності виступають: мінімальна собівартість обробки деталі, мінімальна витрата ріжучого інструменту, мінімальний основний час обробки.

Завдання оптимізації буде вирішено, якщо розраховані режими різання можуть бути реалізовані на відповідному устаткуванні, задовольняють усі технічні обмеження. При цьому вибір того чи іншого критерію залежить як від виробничої ситуації, так і від суб'єктивних поглядів технологів, що приймають рішення.

Складена математична модель оптимального режиму різання містить систему технічних обмежень, що виражені у вигляді лінійних нерівностей, і лінійне рівняння цільової функції [1, 2]. Варіант математичної моделі оптимального режиму різання може бути наступним:

$$\left. \begin{aligned} x_1 + y_v x_2 &\leq b_1 \\ nx_1 + yx_2 &\leq b_2 \\ yx_2 &\leq b_3 \\ x_2 &\geq b_4 \\ x_1 &\leq b_5 \\ f_0 &= (x_1 + x_2) \rightarrow \max \end{aligned} \right\} A \quad (3)$$

Найбільшого поширення на практиці при розрахунках оптимальних режимів різання отримали критерії максимальної продуктивності та мінімальної собівартості. Забезпечення мінімальної собівартості механічної обробки – одне із основних чинників випуску конкурентоспроможної продукції.

Для умов обробки одним інструментом цільова функція, що пов'язує собівартість із режимами різання, має вигляд [2]:

$$C = a(t_0 + t_c \frac{t_p}{T}) + a^1 \frac{t_p}{T}, \quad (4)$$

де  $C$  – частина технологічної собівартості, що залежить від режимів різання;  $a$  – собівартість верстато-хвилини;  $t_0$  – основний час обробки;  $t_c$  – час зміни інструмента;  $t_p$  – дійсний час різання заготовки;  $T$  – стійкість інструмента;  $a_1$  – вартість інструменту, наведена до одного періоду стійкості.

З іншого боку продуктивність обробки обернено пропорційна витраченому часу. І як цільова функція використовується частина штучно-калькуляційного часу:

$$t_{ш}^1 = t_0 + t_c \frac{t_p}{T}. \quad (5)$$

Після перетворень функцію собівартості обробки можна представити у вигляді:

$$C = \frac{K_1}{V \cdot S} + \frac{K_2}{V \cdot S \cdot T}, \quad (6)$$

де  $K_1$  та  $K_2$  – постійні величини;  $V$  – швидкість різання;  $S$  – подача [3].

З формули (6) слід, що збільшуючи добуток  $V \cdot S$ , зменшують собівартість. З іншого боку, необхідно прагнути збільшення стійкості інструменту  $T$  або зменшення добутку  $V \cdot S$  у другому доданку. У будь-якому випадку, при спробі задовольнити обидві вимоги одночасно, виникає певна суперечність – покращується один із параметрів, інший – погіршується.

Для знаходження оптимальних режимів різання використовують також наступні критерії:

- відношення обсягу матеріалу, що знімається, до собівартості

$$E_1 = \frac{VST}{a + bV^m S^n t^k} \rightarrow \max ; \quad (7)$$

- відношення продуктивності до собівартості

$$E_2 = \frac{1}{t_{uc}^1 C} \rightarrow \max ; \quad (8)$$

- відношення обсягу виконаної роботи до собівартості

$$E_3 = \frac{P_z L}{C} \rightarrow \max ; \quad (9)$$

- відношення об'єму матеріалу, що знімається за одну хвилину роботи, до хвилинних витрат

$$E_4 = \frac{VStT}{aT + a^1 t_0} \rightarrow \max . \quad (10)$$

Кожен із наведених вище критеріїв у своєму складі містить кілька простих, має свої переваги та недоліки. Визначаючи оптимальні режими різання з використанням критеріїв (6-10), стикаються з обробкою великої кількості довідкової інформації, тривалістю розрахунків, знаходженням певних коефіцієнтів тощо. Перспективним напрямом буде пошук критерію оптимальності, який підійде для більшості видів механічної обробки, буде простим у застосуванні та дозволить оперативно коригувати режими різання.

Особливий інтерес становлять інформаційні критерії [3]. Аналіз інформаційних зв'язків у технологічному процесі дозволяє по-новому, з кібернетичного погляду підійти до розгляду та синтезу технології. З цих позицій процес формоутворення можна розглядати як процес передачі інформації від креслення деталі на заготівлю. Тим самим коректно говорити не лише про енергетичну та технологічну, а й про інформаційну продуктивність технологічного процесу. У першому наближенні маса інформації, що міститься в структурі обробленої деталі

$$I = S(1 + \sum_1^n \frac{R_i}{\Delta R_i} \log_2 \frac{R_i}{\Delta R_i}) , \quad (11)$$

де  $S$  – площа обробленої поверхні;  $n$  – кількість отриманих розмірів;  $R_i$  –  $i$ -й отриманий розмір;  $\Delta R_i$  – точність  $i$ -го розміру [3].

**Висновки.** Застосування верстатів з ЧПК дозволяє спростити оптимізацію технологічного процесу з вибором режимів різання. Найбільшого поширення на практиці при розрахунках оптимальних режимів різання отримали критерії максимальної продуктивності та мінімальної собівартості. Перспективний напрям розвитку оптимізації механічної обробки – пошук нових критеріїв оптимальності, які дозволять оперативно коригувати режими різання, а також використання інформаційних критеріїв.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дідик Р.П. Розрахункові операції режимів механічної обробки матеріалів: то-чіння, свердління, зенкерування, розгортання: навч. посіб. / Р.П. Дідик, В.В. Зіль, С.Т. Па-цера. – Д.: Національний гірничий університет», 2013. – 196 с.
2. Кроль О.С. Методы и процедуры оптимизации режимов резания: монография. - Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2013. – 260 с.
3. Математичне моделювання та оптимізація процесів металообробки : моногра-фія / Ф.В. Новіков. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 384 с.

УДК 621.952

### ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ SOLIDWORKS ДЛЯ ЗВОРОТНОГО ІНЖИНІРИНГУ СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Д. В. Веретільник<sup>1</sup>, Д. Р. Захарова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент групи 133-22-1, e-mail: [veretilnyk.da.v@nmu.one](mailto:veretilnyk.da.v@nmu.one)

<sup>2</sup>студентка групи 133-20-1, e-mail: [zakharova.d.r@nmu.one](mailto:zakharova.d.r@nmu.one)

<sup>1,2</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Анотація.** У роботі розглядаються основні використання сучасних комп'ютерних те-хнологій SolidWork для зворотного інжинірингу свердлильного верстата.

*Ключові слова:* SolidWorks, свердлильний верстат, зворотний інжиніринг, дослі-дження.

### APPLICATION OF MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES SOLIDWORKS FOR REVERSE ENGINEERING BORING MILL

David Veretilnyk<sup>1</sup>, Diana Zakharova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Student of group 133-22-1, e-mail: [veretilnyk.da.v@nmu.one](mailto:veretilnyk.da.v@nmu.one)

<sup>2</sup>Student of group 133-20-1, e-mail: [zakharova.d.r@nmu.one](mailto:zakharova.d.r@nmu.one)

<sup>1,2</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**Abstract.** The article discusses the main applications of using modern computer tech- nologies SolidWork for reverse engineering of a boring mill.

*Keywords:* SolidWorks, boring mill, reverse engineering, research.