

Д.Б. Камінський, П.П. Мельничук

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ В УМОВАХ КВАЗІСТАЦІОНАРНОГО ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ЛЕЗОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Пропонується варіант рішення задачі оптимізації режимів різання на доводочних операціях методом лінійного програмування з використанням системи програмування Delphi 3.0 під операційну систему Windows'95 (NT).

Відомо декілька підходів до оцінки проектних рішень за сукупністю показників [1, 2, 3]. Відповідно до задач розрахунку режимів різання найбільше поширення отримав підхід, пов'язаний з виділенням одного з них як критерія оптимальності (цільової функції) з зазначенням діапазонів можливих значень для інших [5]. В цьому випадку оптимальними вважаються такі значення шуканих параметрів, які забезпечують максимум або мінімум цільової функції за умови, що решта вихідних параметрів знаходяться в заданих межах. Ці межі визначаються можливостями технологічної системи, вимогами до оброблюваної деталі та конкретними умовами виробництва [3].

Задача розрахунку оптимальних режимів різання в загальному випадку описується наступним чином. Нехай $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – набір шуканих параметрів; x_i – множина його доцільних значень; $R_i(x)$ – значення i -ї характеристики процесу різання в залежності від набору X шуканих параметрів; \bar{R}_i – задане граничне значення i -ї характеристики процесу різання; $F(x)$ – прийнятий критерій оптимальності в залежності від набору шуканих параметрів X . І якщо застосувати можливості математичного програмування, то розрахунок оптимальних режимів різання зводиться до розв'язання наступної задачі:

$$\begin{aligned} F(x) &\rightarrow \min(\max); & (1) \\ R_i &\leq \bar{R}_i, i = 1, m; \\ x &\in X. \end{aligned}$$

В рамках загальної оптимізації режимів різання, яка описується співвідношеннями (1), виникають конкретні варіанти постановки задачі і відповідні математичні моделі, які можуть бути класифіковані: за складом показників процесу, які враховуються; за прийнятим критерієм оптимальності; за видом функцій $F(x)$ і $R_i(x)$, які апроксимують основні закономірності процесу; за ступенем обліку індетермінованості процесу різання і невизначеності вихідної інформації.

Одним з найбільш розповсюджених методів оптимізації є лінійне програмування, яке припускає, що цільова функція оптимізації (або функція мети) лінійна. При роботі за один прохід за цільову функцію приймається залежність

$$F = C \cdot n \cdot S,$$

де C – постійний коефіцієнт.

Вказана функція при використанні в розрахунках економічних періодів стійкості забезпечує найменший штучний час обробки.

Вплив технічних обмежень на режими різання може бути відображений у вигляді нерівностей, які являють собою залежність величини, яка розглядається, від елементів режиму різання n, S, t . Глибину різання t , як правило, приймають постійною, припускаючи, що робота ведеться в один прохід.

Таким чином, після нескладних перетворень можна отримати математичну модель різання. В загальному випадку вона має вигляд:

$$\begin{aligned} z_1 X_1 + y_1 X_1 &\leq b_1; \\ z_2 X_2 + y_2 X_2 &\leq b_2; \\ &\dots\dots\dots \\ z_n X_n + y_n X_n &\leq b_n; \\ \hline f_0 = (X_1 + X_2) &\rightarrow \max, \end{aligned}$$

де $lg n = X_1$ і $lg S = X_2$.

Для розв'язку цієї задачі було вибрано 10 обмежень, до яких належать:

- 1) потужність електродвигуна;
- 2) найменша рекомендована швидкість різання;
- 3) найменша допустима швидкість різання, яка забезпечується кінематикою верстата;
- 4) найбільша рекомендована швидкість різання;
- 5) найбільша допустима швидкість різання, яка забезпечується кінематикою верстата;
- 6) найменша рекомендована подача;
- 7) найменша допустима подача, яка визначається кінематикою верстата;
- 8) найбільша рекомендована подача;
- 9) обмеження по жорсткості ріжучого інструмента;
- 10) обмеження по шорсткості оброблюваної поверхні.

Як критерій оптимальності може бути прийняті мінімальна собівартість обробки або максимальна продуктивність.

Розглянемо більш детально ці обмеження (вони будуються на основі відомих залежностей).

1. Потужність двигуна.

Це обмеження виражається умовою $N_{ef} \leq N \cdot \eta$, де N – потужність електродвигуна головного привода верстата, кВт; η – ККД привода верстата.

$$N_{ef} = \frac{P_z \cdot v}{102 \cdot 60},$$

де P_z – головна складова сили різання, яка визначається за класичною формулою

$$P_z = C_{p_z} \cdot t^{x_{p_z}} \cdot S^{y_{p_z}} \cdot v^{n_{p_z}} \cdot K_p. \quad (2.1)$$

Тоді для цього обмеження

$$n^{n_{p_z}+1} \cdot S^{y_{p_z}} \leq \frac{6120 \cdot (10^3)^{n_{p_z}} \cdot N \cdot \eta}{C_{p_z} \cdot t^{x_{p_z}} \cdot D^{n_{p_z}+1} \cdot \pi^{n_{p_z}+1} \cdot K_p}. \quad (3)$$

Введемо позначення:

$$X_1 = \ln n; \quad (4)$$

$$X_2 = \ln(1000 \cdot S).$$

Після приведення нерівності (3) до лінійного вигляду і вводу позначень (3) отримаємо загальний вигляд першого обмеження:

$$n_{p_z} X_1 + y_{p_z} X_2 \leq b_1, \quad (5)$$

де $b_1 = \ln \left[\frac{6120 \cdot (10^3)^{n_{p_z}} \cdot N \cdot \eta}{C_{p_z} \cdot t^{x_{p_z}} \cdot D^{n_{p_z}+1} \cdot \pi^{n_{p_z}+1} \cdot K_p} \cdot 1000^{y_{p_z}} \right]$.

Аналогічно були отримані вирази для інших обмежень.

2. Найменша рекомендована швидкість різання.

$$X_1 \geq b_2, \text{ де } b_2 = \ln \left[\frac{v_{min \text{ рек.}} \cdot 1000}{\pi \cdot D} \right], \quad (6)$$

де D – діаметр поверхні, яка обробляється.

3. Найменша допустима швидкість різання, яка забезпечується кінематикою верстата.

Це обмеження накладається на процес різання з метою перевірки кінематичних можливостей того чи іншого верстата, забезпечення необхідної швидкості обертання шпінделя:

$$n \geq n_{min \text{ верст.}}; \quad (7)$$

$$X_1 \geq b_3, \text{ де } b_3 = \ln(n_{min \text{ верст.}}).$$

4. Найбільша рекомендована швидкість різання.

В загальному випадку нерівність має вигляд:

$$v \leq v_{max \text{ рек.}}; \quad (8)$$

$$X_1 \leq b_4, \text{ де } b_4 = \ln \left[\frac{v_{max \text{ рек.}} \cdot 1000}{\pi \cdot D} \right].$$

5. Найбільша допустима швидкість різання, яка забезпечується кінематикою верстата.

$$n \leq n_{\max \text{ верст.}}; \quad (9)$$

$$X_1 \leq b_5, \text{ де } b_5 = \ln(n_{\max \text{ верст.}})$$

6. Найменша рекомендована подача.

$$S \geq S_{\min \text{ рек.}}; \quad (10)$$

$$X_2 \geq b_6, \text{ де } b_6 = \ln(1000 \cdot S_{\min \text{ рек.}})$$

7. Найменша допустима подача, яка визначається кінематикою верстата.

Це обмеження накладається на процес різання з метою перевірити кінематичні можливості того чи іншого верстата і забезпечити необхідну подачу робочого органа верстата:

$$S \geq S_{\min \text{ верст.}}; \quad (11)$$

$$X_2 \geq b_7, \text{ де } b_7 = \ln(1000 \cdot S_{\min \text{ верст.}})$$

8. Найбільша рекомендована подача.

$$S \leq S_{\max \text{ рек.}}; \quad (12)$$

$$X_2 \leq b_8, \text{ де } b_8 = \ln(1000 \cdot S_{\max \text{ рек.}})$$

9. Обмеження по жорсткості ріжучого інструмента.

Обмеження по жорсткості різця має вигляд

$$P_z \leq P_{z \text{ ж.}},$$

де $P_{z \text{ ж.}}$ – максимальне навантаження, яке допускається жорсткістю різця:

$$P_{z \text{ ж.}} = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot I}{l_{\text{вил.}}^3},$$

де I – осьовий момент інерції; f – допустима стріла прогину різця; E – модуль пружності I-го роду матеріалу державки різця; $l_{\text{вил.}}$ – величина виліту різця.

Звідси маємо

$$C_{p_z} \cdot t^{x_{p_z}} \cdot S^{y_{p_z}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \right)^{n_{p_z}} \cdot K_p \leq \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot B \cdot H^3}{12 \cdot l_{\text{вил.}}^3}.$$

Після нескладних перетворень отримаємо

$$n_{p_z} X_1 + y_{p_z} X_2 \leq b_9, \quad (13)$$

$$\text{де } b_9 = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot B \cdot H^3 \cdot 1000^{n_{p_z}}}{C_p \cdot t^{x_{p_z}} \cdot \pi^{n_{p_z}} \cdot D^{n_{p_z}} \cdot 12 \cdot l_{\text{вил.}}^3} \cdot 1000^{y_{p_z}}.$$

10. Обмеження по шорсткості оброблюваної поверхні.

$$X_2 \geq b_{10}, \text{ де } b_{10} = \ln[1000 \cdot \sqrt[3]{32 \cdot Ra_{\text{розр.}} \cdot r_{\theta}}] \quad (14)$$

В залежності від критерію оптимальності функція мети може максимізуватись або мінімізуватись.

При мінімальній собівартості обробки функція мети має вигляд

$$F = C_1 \cdot n \cdot S,$$

де C_1 – постійний коефіцієнт. Цілком зрозуміло, що у вирішуваній задачі $F \rightarrow \min$. При вводі позначень (3) функція буде мати вигляд

$$F = (X_1 + X_2) \rightarrow \min.$$

При максимальній продуктивності функція мети буде дорівнювати:

$$F = C_2 \cdot n \cdot S,$$

де C_2 – постійний коефіцієнт. З урахуванням позначень (4) в кінцевому результаті функція мети буде дорівнювати

$$F = (X_1 + X_2) \rightarrow \max.$$

Нерівності (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14) разом з функцією мети (критерію оптимальності) складають систему обмежень задачі оптимізації режимів різання.

Пропонується розв'язання задачі оптимізації режимів різання методом лінійного програмування із застосуванням обчислювальної техніки на базі симплекс-методу.

Алгоритм розв'язку задачі для побудови симплекс-таблиць і проведення в цих таблицях необхідних розрахунків будувався на основі використання масивів.

Розроблена програма має модульний принцип і складається з модулів, кожен з яких відповідає за свій учасок роботи. Всього таких модулів шість. Кожному модулю відповідає своє вікно програми, крім модуля-проекта. В програмі використано п'ять вікон. Чотири модуля (разом з ними і вікна) відповідають за ввід даних, а також за перевірку коректності вводу цих даних.

П'ятий модуль відповідає за розрахунки і друк вхідних і вихідних даних.

Список всіх модулів і відповідних вікон (у дужках) програми наведено нижче:

- 1) Machine – модуль проекту;
- 2) MachineTool (MachinToolBase) – відповідає за вибір обладнання і його кінематичних характеристик. Тут знаходиться база даних, яка містить інформацію про 60 верстатів токарної групи;
- 3) Material (MaterialBase) – відповідає за вибір оброблюваного матеріалу, матеріалу робочої частини різця, виду обробки, емпіричних коефіцієнтів для розрахунку головної складової сили різання, глибини різання, оброблюваного діаметра;
- 4) MetalCuttingToolBase (Metal cutting tool) – відповідає за вибір геометричних параметрів ріжучого інструмента; ввід значень поперечного перетину державки різця;
- 5) AdvisableModeOfOperations (AdvisableModeOfOperationsBase) – відповідає за вибір рекомендованих режимів різання; ввід модуля пружності першого роду для матеріалу державки різця, допустимої стріли прогину різця, величину виліту різця, параметра кінцевої шорсткості обробки, вибору критерію оптимізації (як приклад це вікно показано на рис. 1);
- 6) Calculat (Calculation) – відповідає за розрахунки за тими даними, які були введені, а також за вивід вхідних і вихідних даних до друку.

Модульний принцип дуже зручний, тому що він значно спрощує і полегшує редагування програми, зменшує час написання коду програми за рахунок повторного використання процедур і функцій, які закладені в той чи інший модуль [4].

Для розрахунку оптимальних режимів різання необхідно вводити велику кількість даних. Щоб полегшити працю користувача, у програмі широко використовуються бази даних, де практично зосереджено 90 % всієї вхідної інформації. Забезпечено доступ до цих баз даних, тобто користувач програми має змогу не лише використовувати ту інформацію, яка закладена в бази, а й повністю її коригувати, а також доповнювати своєю, що, у свою чергу, значно розширює можливості використання програми.

Бази даних створені за допомогою Database Desktop в Paradox 7.

Ввід даних виконується поступово при переході від одного вікна до іншого, в свою чергу, бази даних мають вигляд таблиць; таким чином, ввід даних є процес аналогічний процесу ручного розрахунку режимів різання з використанням справочника. Все це полегшує роботу людини, яка мало працювала з комп'ютером, і робить програму більш зрозумілою у використанні.

Можливості з переміщення, редагування і збереження даних надає "навігатор" бази даних або кнопки управління базою даних. Ці кнопки розташовані біля кожної бази.

При вводі необхідних даних або при коригуванні баз даних у кожному модулі передбачено процедури обробки помилок, тобто програма слідкує за коректністю даних, які вводяться. Взагалі, процедури обробки помилок для всіх вікон однакові.

Даний продукт має велику гнучкість, яка полягає в тому, що кожна з баз даних, які використовуються для розрахунку режимів різання, може бути доповнена технологом конкретного підприємства. Тому розроблена програма може використовуватись на будь-якому машинобудівному підприємстві чи навчальному закладі.

Програма призначена для розрахунку оптимальних режимів різання для інструментів, ріжуча частина якого виконана з швидкорізальної сталі або з твердого сплаву.

В програмі не врахована динамічна складова процесу різання, тобто, наприклад, як фактор не враховується форма оброблюваної поверхні та деякі інші фактори, пов'язані з динамікою процесу різання. Відповідно не враховується й їх вплив на точність і шорсткість оброблюваної поверхні, а це особливо важливо на доводочних операціях.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Горанский Г.К., Владимиров Е.В., Ламбин Л.Н. Автоматизация технического нормирования станочных работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1970. – 120 с.
2. Корсаков В.С., Капустин Н.М., Темпельгоф К.-Х., Лихтенберг Х. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1985. – 304 с.
3. Локтев В.Г. Автоматизированный расчёт режимов резания и норм времени. – М.: Машиностроение, 1990. – 78 с.
4. Дэн Оуэен, Стив Гробман, Стив Батсон. Delphi 2. Освой самостоятельно.: Пер. с англ. – М.: Восточная книжная компания, 1997. – 624 с.
5. Ящерицин П.И., Ерёмченко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Минск.: Высшэйшая школа, 1990. – 510 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Касиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

КАМІНСЬКИЙ Дмитро Болеславович – аспірант Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- оптимізація режимів різання на фінішних операціях;
- динаміка процесу різання.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – кандидат технічних наук, доцент, перший проректор Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- дослідження в галузі механіки руйнування.