

УДК 621.91:004.9

В.М. Юхимчук, аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

**ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ****В.Н. Юхимчук**, аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», г. Киев, Украина

**ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ****Volodymyr Yukhymchuk**, PhD student

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

**APPROACHES TO OPTIMIZE THE CUTTING TOOL SELECTION FOR HOLES
MACHINING**

Стаття присвячена розробленню моделі оптимізації синтезу технологічних переходів та інструментального забезпечення за критерієм мінімальної собівартості оброблення. Ця модель побудована у результаті аналізу структури та джерел виникнення витрат на оброблення, зокрема, впливу варіанта технологічного процесу та варіанта інструментального забезпечення на загальні витрати на оброблення. Її використання передбачене в експертних системах вибору інструментального забезпечення і системах автоматизованого проектування технологічних процесів та ґрунтується на використанні формалізованого представлення варіантів оброблення у цих системах. Головна цільова функція задачі оптимізації включає в себе всі можливі складові витрат, пов'язаних як із безпосереднім обробленням, так і з допоміжними процесами (час на холості ходи та заміну різального інструменту). Додаткові цільові функції забезпечують раціональний розподіл періоду стійкості різального інструменту та врахування технологічних можливостей обладнання (місткість інструментального магазину). Комплексне використання такої моделі дозволяє проводити аналіз усіх можливих варіантів технологічного процесу оброблення отворів та запропонувати найбільш оптимальний з погляду сумарних витрат.

Ключові слова: інструментальне забезпечення, синтез, оптимізація, собівартість виготовлення, скорочення витрат, оброблення отворів.

Статья посвящена разработке модели оптимизации синтеза технологических переходов и инструментального обеспечения по критерию минимальной себестоимости обработки. Эта модель построена в результате анализа структуры и источников возникновения затрат на обработку, в частности, влияния варианта технологического процесса и варианта инструментального обеспечения на общие расходы на обработку. Ее использование предусмотрено в экспертных системах выбора инструментального обеспечения и системах автоматизированного проектирования технологических процессов и базируется на использовании формализованного представления вариантов обработки в данных системах. Главная целевая функция задачи оптимизации включает в себя все возможные составляющие расходов, связанных непосредственно с обработкой, а также вспомогательными процессами (время на холостые ходы и замены инструмента). Дополнительные целевые функции обеспечивают рациональное распределение периода стойкости режущего инструмента и учета технологических возможностей оборудования (емкость инструментального магазина). Комплексное использование такой модели позволяет проводить анализ всех возможных вариантов технологического процесса обработки отверстий и предложить наиболее оптимальный с точки зрения суммарных затрат.

Ключевые слова: инструментальное обеспечение, синтез, оптимизация, себестоимость изготовления, сокращение затрат, обработка отверстий.

This paper is devoted a model to optimize the synthesis of technological transitions and instrumental support by the criterion of minimum cost of processing. This model is constructed by analyzing the structure of cost and source for holes machining, in particular the influence of process variant and cutting tool variant on the total costs. Its use is provided in expert systems software for cutting tool selection and computer-aided design and production processes based on the use of formalized representation of treatment options in these systems. Main objective function of the optimization problem includes all the possible components of the costs directly related to the processing and ancillary processes (time for idle motions and tool change). Additional features provide targeted rational distribution tool life of the cutting tool and the account of the technological capabilities of equipment (capacity of tool magazine). Integrated use of such a model allows the analysis of all-possible technological processing and offer the most optimal in terms of total costs.

Key words: cutting tools, synthesis, optimization, manufacturing cost, cost reduction, holes machining.

Постановка проблеми. Вирішення задач інструментального забезпечення у системі технологічного підготовки виробництва потребує автоматизації процесів проектування технології виготовлення виробу та вибору раціонального різального інструменту. Ці задачі повинні вирішуватися із застосуванням сучасних САМ/САРР систем, однак останні часто не реалізують їх зовсім, або лише частково, що пов'язано зі складністю формалізації цих процесів. Особливо актуальним завданням є синтез інструментально-

го забезпечення оброблення отворів, зокрема осьовим різальним інструментом, що на сьогодні найчастіше відбувається у ручному режимі із застосуванням знань та досвіду технолога.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині ефективний синтез л-оптимальних технологічних процесів механічного оброблення передбачає аналіз до рівня технологічних переходів. У той же час задачі синтезу інструментального забезпечення кожного технологічного переходу практично не враховують їх сукупну дію для всього набору технологічних переходів, що виконуються у межах однієї технологічної операції. Сьогодні найчастіше вирішуються задачі оптимізації режимів різання для конкретного технологічного переходу, задачі оптимізації інструментальних наладок [1], проектування ПІ із забезпеченням оптимальних геометричних параметрів [2; 3] та ін. При цьому як критерії оптимізації використовуються критерії максимальної продуктивності та мінімальної собівартості виготовлення виробу, а параметром оптимізації є швидкість різання [4]. Тому розв'язання задач оптимізації, які б враховували альтернативні варіанти реалізації технологічних переходів та їх синергетичну дію, є актуальним завданням.

Метою цієї роботи є розвиток моделі оптимізації синтезу інструментального забезпечення з урахуванням вартісних параметрів оброблення для забезпечення мінімальної собівартості виготовлення.

Виклад основного матеріалу. Синтез оптимального інструментального забезпечення є наступним кроком після синтезу множини варіантів M технологічних переходів оброблення отворів на основі типових послідовностей, що забезпечують необхідні параметри точності та шорсткості поверхні. Кількість цих варіантів є досить невеликою, але задача пошуку варіантів інструментального забезпечення ускладнюється за рахунок великої кількості різальних інструментів, здатних забезпечити необхідні вихідні параметри деталі:

$$M = (V_1, V_2, \dots, V_n), V_n = (T_1^n, T_2^n, \dots, T_m^n), T_m^n = (p_1, p_2, \dots, p_i),$$

де T_m^n – різальний інструмент, що характеризується множиною параметрів p на технологічному переході m варіанта V_n технологічного маршруту оброблення M .

У цьому випадку доцільно використовувати неявний опис множин варіантів інструментального забезпечення за допомогою алгоритму або набору правил R синтезу проектних рішень з деякої обмеженої множини параметрів P . Тому множину T можна записати у вигляді $T = \langle R, P \rangle$, а процес синтезу проектних рішень буде відбуватися за такими етапами [5]:

- синтез альтернативного рішення T – вибір з бази даних ПІ за сформованим пошуковим запитом або синтез з множини P і відповідності до правил R ;
- оцінювання альтернативного рішення за допомогою математичної моделі розрахунку критеріїв вибору цього рішення;
- прийняття рішення відносно вибору цього альтернативного рішення чи подальшого пошуку.

Синтез рішення відбувається на основі теорії експертних систем, базова структура якого представлена на рис. 1.

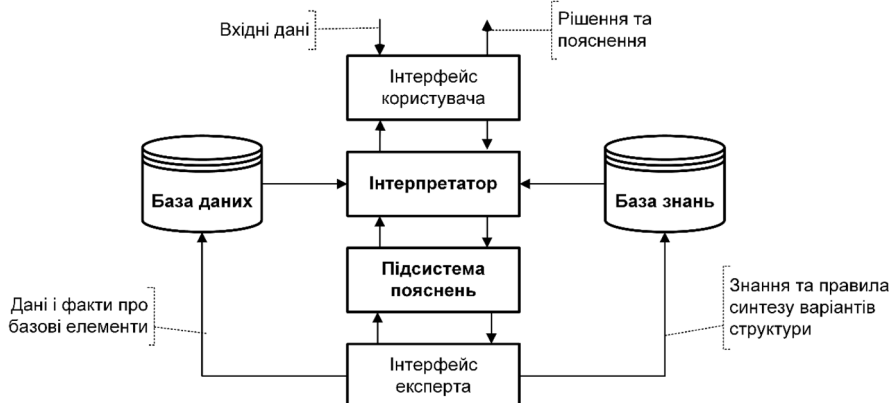


Рис. 1. Базова схема експертної системи синтезу рішення

База знань експертної системи синтезу може бути представлена у формі продукцій та фреймів. Продукція відображає правило типу «ЯКЩО A то B », де A – умова, B – дія або наслідок, які виконуються у випадку істинності A . Продукційна база знань описує множину правил, що характеризують процес синтезу в цій предметній галузі. База даних описується структурами у вигляді фреймів, що містять відомості про властивості описуваного об’єкта:

$$\langle \text{ім'я фрейма}; x_1=p_1, x_2=p_2, \dots, x_n=p_n; q_1, q_2, \dots, q_m \rangle,$$

де x_i – ім’я i -того атрибута; p_i – його значення або ім’я вкладеного фрейма, q_i – посилання на інший фрейм або процедуру.

Оцінювання варіанта інструментального забезпечення потрібно проводити за допомогою моделі розрахунку параметра, що дозволить прийняти рішення про вибір цієї альтернативи. Узагальненим та зрозумілим параметром у цьому випадку може служити загальна собівартість оброблення деталі.

Структуру витрат на оброблення деталі можна представити у вигляді схеми, яка наочно описує складові витрат та їх параметри (рис. 2), де C – загальна собівартість оброблення, що охоплює технологічну $C_{техн}$ та інструментальну $C_{інст}$. Технологічні витрати розраховуються на основі оперативного часу оброблення та вартості верстато-години роботи обладнання:

$$C_t = T_{оп} \cdot C_{верст-г} \cdot$$

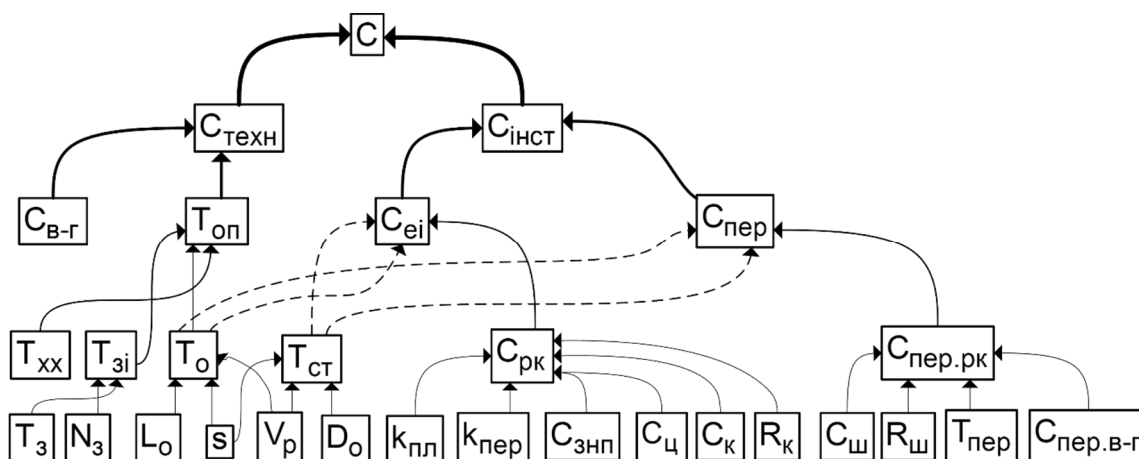


Рис. 2. Схема складових витрат на оброблення

Оперативний час розраховується як сума основного часу на виконання технологічних переходів та допоміжного, пов’язаного з виконанням холостих ходів та заміною інструменту.

$$T_{on} = T_o + T_{\partial} = \frac{L_{px}}{V_p \cdot s} + (T_{xx} + T_{zi}).$$

Інструментальні витрати складаються з витрат на експлуатацію різального інструменту та витрат на його переточування, які пов'язані з розподілом вартості однієї різальної кромки (або її переточування) інструменту на весь період стійкості РІ, виражений у кількості деталей.

$$C_{inst} = C_{ei} + C_{nep} = \frac{C_{pk} \cdot T_o}{T_{cm}} + \frac{C_{nep.pk} \cdot T_o}{T_{cm}}.$$

Вартість різальної кромки інструменту розраховується на основі вартості РІ та кількості можливих переточувань для цільної конструкції, або як сума розподіленої вартості корпусу та різальної пластини для збірної конструкції інструменту:

$$C_{pk} = \frac{C_{iu}}{k_{nep}}, \text{ або } C_{pk} = \frac{C_{кор}}{R_{кор}} + \frac{C_{ЗНП}}{k_{пл}}.$$

Вартість переточування РІ визначається на основі вартості верстато-години роботи заточувального обладнання, часу переточування та вартості інструменту (наприклад, шліфувального круга):

$$C_{nep.pk} = \frac{T_{nep} \cdot C_{nep.в-г}}{60} + \frac{C_{ш}}{R_{ш}}.$$

Наприклад, у випадку виконання технологічного переходу за допомогою цільного РІ інструментальну собівартість оброблення можна записати:

$$C_i = B \cdot \frac{L_{px}}{V_p \cdot s \cdot T_{cm}},$$

$$\text{де } B = \frac{C_{iu}}{k_{nep}} + \frac{T_{nep} \cdot C_{nep.верст-г}}{60} + \frac{C_{ш}}{R_{ш}} - \text{ стала складова інструментальних витрат.}$$

Аналізуючи витрати, їх можна умовно розділити на групи накопичення витрат на оброблення:

- пов'язана з вибраним варіантом технологічного маршруту оброблення M – кількість технологічних переходів, кількість заміन різального інструменту, довжина холостих ходів РІ та ін.;
- пов'язана з вибраним варіантом інструментального забезпечення РІ на технологічному переході N – параметри режимів різання та вартість різального інструменту;
- пов'язана з вибраним металооброблюючим обладнанням – вартість верстато-години.

Витрати часу у процесі оброблення можна відобразити за допомогою рис. 3. На кожному технологічному переході зростають витрати часу на оброблення та витрати допоміжного часу, пов'язані з заміною різального інструменту та холостими ходами. Варто зазначити, що під час оптимізації процесу оброблення для такої схеми доцільно параметри попередніх технологічних переходів (чорнове оброблення) змінювати для забезпечення максимально можливої швидкості зняття припуску, а останні переходи (чистове оброблення) доцільно оптимізувати для максимально можливої швидкості оброблення поверхні під час забезпечення заданих показників якості.

На базі математичної моделі інструментального забезпечення оброблення можна побудувати модель багатокритеріальної параметричної оптимізації. Як головний параметр оптимізації запропоновано прийняти собівартість оброблення деталі. Цільова функція собівартості оброблення може бути записана у вигляді:

$$F = C \rightarrow \min.$$

Цільова функція мінімізації витрат для варіанта M у повній формі запишеться:

$$F_1 = \sum_{N=1}^N \sum_{n=1}^n A \cdot \left(\frac{L_{px}}{V_p \cdot s} + T_{3i} \right) + B \cdot \frac{L_{px}}{V_p \cdot s \cdot T_{cm}} \rightarrow \min,$$

де N – кількість технологічних переходів оброблення; n – кількість оброблюваних поверхонь на цьому технологічному переході; A – вартість верстато-години роботи металорізального обладнання, а B – стала складова інструментальних витрат.

Виразимо період стійкості PI через параметри режиму різання:

$$T = \left(\frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{V_p \cdot s^y} \right)^{\frac{1}{m}}.$$

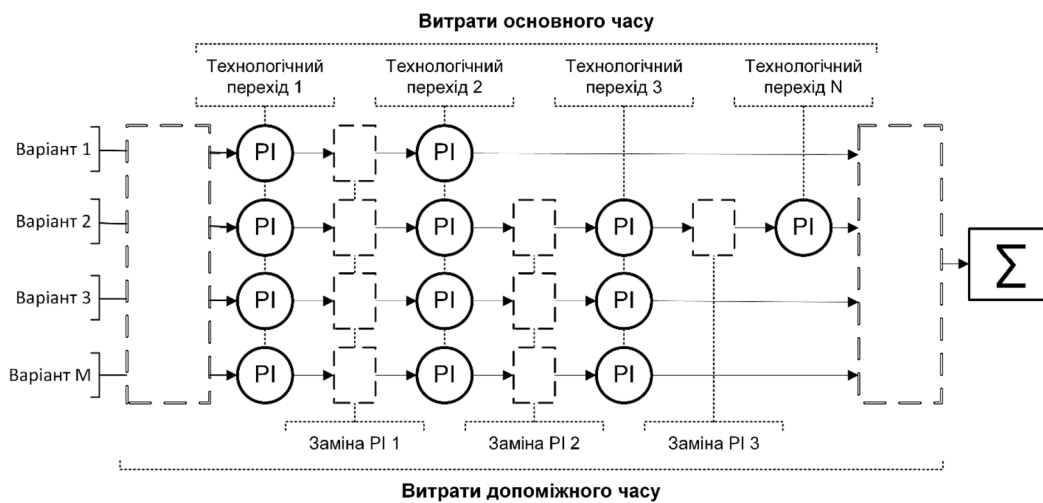


Рис. 3. Схема накопичення витрат на оброблення

Час на заміну PI можна розрахувати, знаючи час заміни одного інструменту на цьому технологічному обладнанні та кількість замін PI . Кількість замін PI визначається на основі кількості технологічних переходів N та відношення періоду стійкості PI на N -ому переході до основного часу оброблення n оброблюваних поверхонь. Тоді кількість замін PI можна розрахувати:

$$k_z = (N - 1) + \sum_{N=1}^N \text{int} \left(\frac{L \cdot n}{V_p \cdot s \cdot T_{cm}} \right).$$

Тоді цільова функція запишеться:

$$F_1 = \sum_{N=1}^N \sum_{n=1}^n A \cdot \left(\frac{L_{px}}{V_p \cdot s} + t_3 \cdot \left((N - 1) + \sum_{N=1}^N \text{int} \left(\frac{L \cdot n}{V_p \cdot s \cdot \left(\frac{C_v \cdot K_v}{V_p \cdot s^y} \right)^{\frac{1}{m}}} \right) \right) \right) + B \cdot \frac{L_{px}}{V_p \cdot s \cdot \left(\frac{C_v \cdot K_v}{V_p \cdot s^y} \right)^{\frac{1}{m}}} \rightarrow \min,$$

$$V_{\min} \leq V_p \leq V_{\max},$$

де V_{\min} і V_{\max} – мінімальна і максимальна регламентовані швидкості різання, які обмежують діапазон, в якому забезпечуються параметри точності та шорсткості оброблюваної поверхні.

$$s_{\min} \leq s \leq s_{\max},$$

де s_{\min} і s_{\max} – мінімальна і максимальна регламентовані подачі РІ, які обмежують діапазон, в якому забезпечуються параметри точності та шорсткості оброблюваної поверхні.

$$P_Z \leq P_{\max_Z},$$

де P_{\max_Z} – максимальна потужність приводу Z-осі (вісь подачі) обладнання.

$$M \leq M_{\max},$$

де M_{\max} – максимальний крутний момент головного приводу обладнання.

Для такої цільової функції можна записати й інші обмеження, наприклад, пов'язані із забезпеченням нормативного періоду стійкості, обмеження, пов'язані з технологічним обладнанням, та інші. Для раціонального використання ресурсу стійкості та зниження витрат на переточування РІ доцільно представити цільову функцію оптимізації використання ресурсу стійкості:

$$F_2 = T_{cm} - T_o \cdot n \rightarrow \min ,$$

$$F_2 = \left(\frac{C_v \cdot K_v}{V_p \cdot s^y} \right)^{\frac{1}{m}} - \frac{L_{px}}{V_p \cdot s \cdot \left(\frac{C_v \cdot K_v}{V_p \cdot s^y} \right)^{\frac{1}{m}}} \cdot n \rightarrow \min , \quad T_{cm} - T_o \cdot n \geq 0 ,$$

де n – можлива кількість оброблених поверхонь деталі за період стійкості РІ:

$$n = INT \left(\frac{T_{cm.n}}{T_{on}} \right), \quad n \geq 1 .$$

Для скорочення кількості технологічних переходів та, відповідно, витрат допоміжного часу можна записати цільову функцію скорочення кількості різального інструменту:

$$F_3 = N_{PI} \rightarrow \min , \quad N_{PI} \leq N_{\max} ,$$

де N_{\max} – максимальна кількість позицій інструментального магазину (барабана) для цього металорізального обладнання.

Висновки. Запропонована математична модель оптимізації дозволяє провести оцінювання варіантів технологічного забезпечення на основі оптимізованих параметрів процесу оброблення. Робота моделі ґрунтується на аналізі та обліку економічних параметрів оброблення для конкретних умов виробництва (вартість різального інструменту, вартість використання основного і допоміжного технологічного обладнання) та забезпечить вибір такого варіанта оброблення, яке б забезпечило максимальне скорочення собівартості виготовлення.

Список використаних джерел

1. *Инструментальные системы автоматизированного производства* : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / Р. И. Гжиров, В. А. Гречишников, В. Г. Логашев и др. – СПб. : Политехника, 1993. – 399 с.
2. *Панкратов Ю. М. САПР режущих инструментов* : учебное пособие / Ю. М. Панкратов. – СПб. : Лань, 2013. – 336 с.
3. *Мироненко Е. В. Исследование стабильности эксплуатации режущего инструмента при многокритериальной оптимизации* / Е. В. Мироненко // Вестник двигателестроения. – 2011. – № 1. – С. 85–88.
4. *Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования* : учеб. для вузов / И. П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 336 с.
5. *Groover M. P. Fundamentals of modern Manufacturing; Materials, Processes, and Systems*. – 4th ed. – John Wiley & Sons, Inc. – 2010. – 1025 p.