

УДК 621. 91

В.Є. Карпусь, професор, д-р техн. наук,

О.В. Котляр, асистент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

E-mail: kotljar80@mail.ru

В.О. Іванов, асистент, канд. техн. наук

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

E-mail: ivanov_vitalii@i.ua

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

Розглянуті питання багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів обробки деталей типу тіл обертання та верстатних пристроїв в умовах багатомономенклатурного виробництва.

Ключові слова: *багатокритеріальна оптимізація, багатомономенклатурне виробництво, критерії оптимальності, методи оптимізації.*

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується широкою номенклатурою виробів та нестабільністю величини виробничої партії деталей, яка змінюється від кількох штук до кількох тисяч або десятків тисяч. Деталі типу тіл обертання складають значну частку продукції машинобудівних виробництв і входять до складу більшості машин та механізмів. Технологічний процес (ТП) обробки тіл обертання відзначається різноманітністю технологічних операцій, маршрутів обробки та металорізального обладнання, що застосовується при їх виготовленні.

Згідно з типовими маршрутами обробки та в залежності від конструктивно-технологічних особливостей і величини виробничої партії тіла обертання можуть оброблятися на різних типах токарних, фрезерних, свердлильних та шліфувальних верстатів з ручним керуванням і з ЧПК при використанні як стандартної, так і спеціальної технологічної оснастки.

Токарна обробка тіл обертання виконується на токарно-гвинторізних та токарно-револьверних верстатах, токарних верстатах з ЧПК, токарних багатоцільових верстатах та багатошпиндельних і багаторізцевих токарних напівавтоматах. При цьому в залежності від концентрації технологічних переходів (поєднована, паралельна та поєдновано-паралельна) застосовуються одно- або багаторізцеві наладки з використанням стандартних або спеціальних ріжучих та допоміжних інструментів.

Обробка отворів у деталях типу тіл обертання проводиться на токарних, вертикально- та радіально-свердлильних верстатах, свердлильних та фрезерних верстатах з ЧПК і багатоцільових верстатах як шляхом одноінструментної послідовної обробки, так і з використанням багатошпиндельних головок та комбінованих осевих інструментів.

Фрезерування лисок, уступів, пазів, зубчастих та шліцевих поверхонь виконується на фрезерних верстатах різних типів з використанням універсальних та спеціальних пристроїв, ріжучих і допоміжних інструментів. Шліфування поверхонь тіл обертання здійснюється на кругло-, внутрішньо- та безцентровошліфувальних верстатах з ручним керуванням та з ЧПК.

Визначальний вплив на вибір типу верстата має величина виробничої партії деталей та її конструктивно-технологічні особливості (максимальний діаметр і довжина та вимоги по точності і шорсткості поверхонь). Різноманіття металорізальних верстатів, на яких можлива обробка деталей типу тіл обертання призводить до зростання числа конкуруючих варіантів ТП. Наприклад, користуючись схемою формування конкуруючих варіантів ТП обробки валів можна сформуванати 20...30 можливих варіантів обробки ступінчастого вала (рисунок 1).

Тому актуальною є розробка методики вибору найвигіднішого варіанту ТП з мінімальною трудомісткістю, враховуючи обсяг випуску продукції та інші виробничі умови.

В умовах багатомономенклатурного виробництва, яке характеризується нестабільністю об'єктів виробництва та величини виробничих партій деталей, вибір найвигіднішого варіанту ТП з числа конкуруючих є складною і трудомісткою задачею, яка потребує проведення великої кількості розрахунків, пов'язаних з визначенням техніко-економічних показників виробництва.

Основними показниками діяльності машинобудівних підприємств є: продуктивність праці, прибуток, собівартість продукції, інтенсивність та ефективність використання фінансових ресурсів, матеріало- і енергомісткість продукції, рентабельність, фондомісткість, фондovіддача, коефіцієнт використання обладнання та ін. Важливою задачею є забезпечення конкурентоздатності продукції з

урахуванням постійно зростаючих вимог до якості виробів та обмеження витрат трудових, матеріальних, фінансових і енергетичних ресурсів.

Підприємства, що працюють у сучасних умовах ринкової економіки являють собою відкриті системи, стабільність і ефективність функціонування яких багато в чому залежить від впливу факторів зовнішнього середовища, що включає споживачів продукції, постачальників енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів, посередників, державні структури, конкурентів, а також економічні, технологічні, політичні, соціальні фактори.

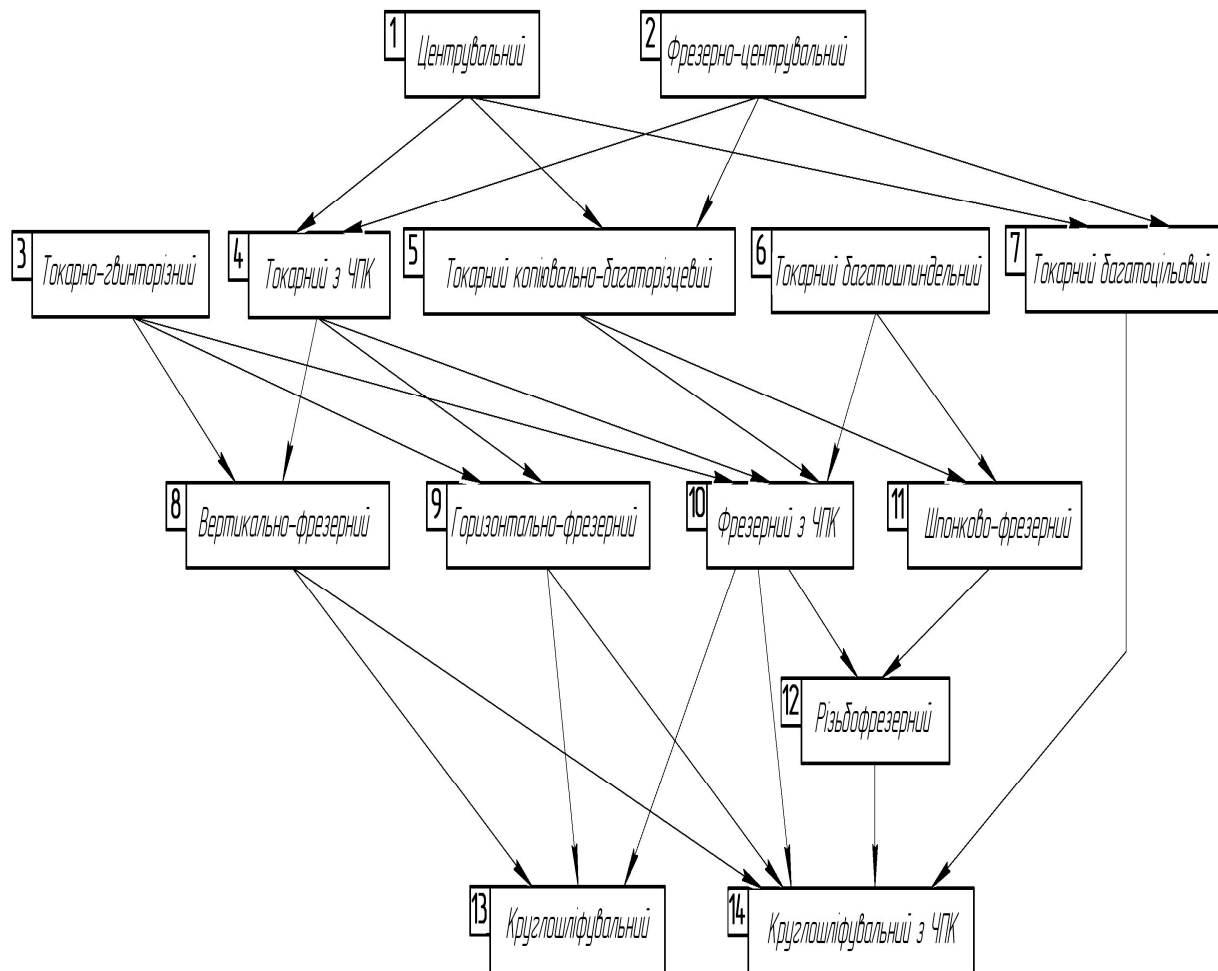


Рисунок 1 – Схема формування конкуруючих варіантів технологічного процесу обробки валів

Елементи зовнішнього середовища впливають на формування цілей підприємства та визначають показники, на підставі яких приймаються управлінські рішення, пов'язані з вибором оптимального ТП. Поставлені цілі знаходять своє відображення в системі показників оцінки діяльності підприємства.

Найбільш значимою метою, яка впливає практично на всі показники діяльності підприємства є продуктивність праці. Лідируюче положення в ієрархії цілей виробничої організації займає також прибуток, який є показником, що найбільш повно відображає ефективність виробництва і визначає виробничі можливості підприємства. За рахунок прибутку здійснюється фінансування та реалізація інших цілей підприємства, а в умовах динамічної зміни факторів зовнішнього середовища і нестабільної економічної ситуації, а також високих темпах інфляції найбільш значимою метою підприємства є одержання максимального прибутку в найбільш короткий строк [1].

На сьогоднішній час важливим напрямком діяльності світових промислових підприємств є економія енергоресурсів. Рациональне використання енергетичних ресурсів – це важлива задача при здійсненні виробничої діяльності. Основу енергетичних ресурсів, які споживають машинобудівні підприємства на технологічні цілі, пов'язані з механічною обробкою деталей, становить електроенергія. Основними показниками використання електроенергії є: електромісткість продукції, електромісткість основних фондів та виробництва, електроозброєність праці, витрати електроенергії на одного працівника

та ін. [2]. На сьогоднішній день планування діяльності підприємства неможливе без врахування ефективності використання енергетичних ресурсів.

Одним з основних недоліків існуючих показників витрат електроенергії є відсутність взаємозв'язку між витратами електроенергії і техніко-економічними показниками, що характеризують інші результати діяльності підприємств, наприклад, продуктивність праці та собівартість продукції. Ці показники розраховуються на одиницю натурального випуску продукції, що ускладнює їх застосування в нестабільних економічних умовах при нестабільному завантаженні обладнання та при частій зміні цін на енергоносії.

Показники витрат електроенергії повинні враховувати витрати електроенергії в розрахунку на одиницю інших виробничих ресурсів. Їх застосування буде сприяти забезпеченню ефективності використання енергетичних ресурсів у взаємозв'язку з виробничим потенціалом підприємства. Тому оцінювати витрати електроенергії слід по відношенню до показників кінцевого випуску продукції.

Величину спожитої електроенергії визначають обсяги виробництва продукції, зміна яких за звичай виражається у фінансових показниках. Таким чином, існує безпосередній зв'язок між зміною обсягів виробництва, які представлені в грошовому вигляді, та зміною витрат електроенергії. Енергетичні та грошові оцінки результатів виробництва є важливими і нетотожними характеристиками. У виробничих умовах доцільно зіставляти енергетичні та грошові оцінки результатів виготовлення продукції.

Процес виконання виробничого завдання є стохастичним, тому що на нього впливають випадкові фактори, викликані відмовами верстатів та ріжучих інструментів. При цьому продуктивність обробки має деяке розсіювання і існує імовірність того, що реально досягнута продуктивність виявиться менше запланованої, яка необхідна для виконання виробничого завдання у встановлений строк. Це може негативно вплинути на імідж підприємства та його положення на ринку і спричинити додаткові витрати, пов'язані з виплатою компенсацій за несвоєчасне постачання продукції. Тому при оцінці виробничої діяльності підприємства необхідно враховувати також показники, які дозволяють оцінити стохастичний зв'язок між необхідною та досягнутою продуктивністю.

Таким чином, оцінку виробничої діяльності підприємства, пов'язану з процесом виготовлення деталей та визначенням найвигіднішого ТП, слід проводити на підставі багатокритеріальної оптимізації з урахуванням системи критеріїв, які відображають технологічні та економічні аспекти діяльності машинобудівних виробництв з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик деталей та організаційно-технологічних умов їх виготовлення.

При цьому в якості критеріїв оптимальності ТП пропонується використовувати показники, які характеризують рівень інтенсифікації та прибутковість виробництва, ефективність використання енергетичних і фінансових ресурсів та надійність процесу функціонування обладнання і дозволяють об'єктивно уточнити та розширити область ефективного застосування ТП, а саме: інтенсивність формування; інтенсивність маржинального прибутку; постійні витрати, що припадають на виробничу партію деталей; електромісткість прибутку та імовірність виконання виробничого завдання.

Інтенсивність формування W_H , мм/хв являє собою фіктивну швидкість розосередженого технологічного впливу кінематично або структурно пов'язаних різальних інструментів на заготовку з урахуванням технологічних, конструктивних і експлуатаційних факторів. Цей критерій має ієрархічну структуру, що відповідає структурі технологічної системи та показника «штучна продуктивність» [3].

Інтенсивність маржинального прибутку I_{II} , грн/хв відображає величину одержуваного маржинального прибутку від реалізації продукції, що припадає на одиницю часу, витраченого на її виробництво. Маржинальний прибуток згідно з методом часткового розподілення витрат – система "дірект-костінг" (direct costing), який в останні десятиріччя набув розвитку, визначається різницею між доходом та перемінними витратами, що залежать від обсягу виробництва.

Постійні витрати, що припадають на виробничу партію деталей K_{II} , грн у поєднанні з інтенсивністю маржинального прибутку дозволяють об'єктивно оцінити економічну діяльність підприємства за період виконання виробничого завдання.

Електромісткість прибутку E_{II} , кВт/грн визначає відношення витрат електроенергії, спожитої в процесі виготовлення деталі, до прибутку, отриманого в результаті її використання.

Імовірність виконання завдання P характеризує надійність процесу функціонування обладнання і дозволяє оцінити стохастичний зв'язок між необхідною та реально досягнутою продуктивністю, а також дозволяє визначити необхідний резерв часу, потрібний для виконання виробничого завдання із заданою імовірністю.

Система критеріїв вибору оптимально варіанту ТП має вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} &W_H = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n W_{Tij} \frac{t_{Oij}}{T_{ШТij} + T_{ПЗij} / N_D + \tau_j} \right) \rightarrow \max; \\ &I_{II} = \frac{Ц_D - Ц_3 - \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{p_j} \frac{(Ц_{PIij} + C_{Cij} / z_{ij} + 1) \cdot K_{yB} \cdot t_{Oij}}{T_{ij} \cdot z_{ij}} + 3p_j + C_{Ej} \right)}{\sum_{j=1}^m (T_{ШТj} + T_{ПЗj} / N_D + \tau_j)} \rightarrow \max; \\ &K_{II} = \sum_{j=1}^m \left(\frac{(S_{Oj} + S_{Bj}) \cdot \gamma_j \cdot 12 \cdot C_P + C_{OБj} \cdot H_A}{\Phi_D} + 3E_{Oj} \right) \cdot \frac{T_{ШТKj} \cdot N_D}{60} \rightarrow \min; \\ &E_{II} = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{p_j} (P_{Pij} \cdot L_{ij} / W_{Tij}) / \eta_{Pj} + (\sum P_{Bj} \cdot k_{Pj} / \eta_{Bj} + P_{ЭЛj}) \cdot T_{ШТj} \right)}{\Pi_D} \rightarrow \min; \\ &P = 1 - e^{-\lambda_j \cdot t_S - \mu_j \cdot \tau} \sum_{v=1}^n \frac{(\lambda_j \cdot t_S)^v}{v!} \left(\sum_{w=0}^{n-1} \frac{(\mu_j \cdot \tau)^w}{w!} \right) \cdot \prod_{i=1}^{N_{Kj}} \left(1 - e^{-(\lambda_{q,j} \cdot t_r)^b - \mu_{q,j} \cdot \tau} \cdot a_{w,v} \sum_{v=1}^m \frac{(\lambda_{q,j} \cdot t_r)^v}{v!} \left(\sum_{w=0}^{m-1} \frac{(\mu_{q,j} \cdot \tau)^w}{w!} \right) \right) \rightarrow \max. \end{aligned} \right.$$

тут W_{Tij} – технологічна інтенсивність формоутворення i -ї поверхні на j -му верстаті, мм/хв; $T_{ШТij}$ – норма штучного часу обробки i -ї поверхні на j -му верстаті, хв; t_{Oij} – основний час обробки i -ї поверхні на j -му верстаті, хв; $T_{ПЗj}$ – підготовчо-заклучний час, пов'язаний з обробкою партії деталей на j -му верстаті, хв; N_D – величина виробничої партії деталей, шт; τ_j – резерв часу, необхідний для відновлення працездатності j -го верстата у разі випадкової відмови верстата або ПІ, хв; де $Ц_D$ – ринкова ціна деталі, грн; $Ц_3$ – ринкова ціна заготовки, грн; m – кількість металорізальних верстатів, задіяних при обробці деталі, шт; p_j – кількість оброблюваних поверхонь деталі на j -му верстаті, шт; K_{yB} – коефіцієнт випадкової втрати ПІ; T_{ij} – стійкість комплекту ПІ для обробки i -ї поверхні на j -му верстаті, хв; $3p_j$ – заробітна плата основних і допоміжних робітників з нарахуваннями на j -му верстаті, грн; S_{Oj} – виробнича площа, яку займає j -й верстат, м²; γ_j – коефіцієнт, що враховує додаткову площу j -го верстата; C_P – вартість місячної оренди 1 м² виробничої площі, грн/м²; $C_{OБj}$ – балансова вартість j -го верстата, грн; H_A – норма амортизаційних відрахування по обладнанню; $3E_{Oj}$ – витрати на експлуатацію та обслуговування обладнання, технологічного оснащення та виробничих площ j -го верстата, грн; Φ_D – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год; P_{Pij} – споживання електроенергії двигунами головного руху при обробці i -ї поверхні на j -му верстаті, кВт; $\sum P_{Bj}$ – сумарна потужність допоміжних двигунів j -го верстата, кВт; Π_D – маржинальний прибуток від реалізації деталі, грн; λ_j , μ_j – відповідно інтенсивність відказів та відновлень j -го верстата, 1/хв; b – показник степені розподілу Вейбула; N_{Kj} – кількість інструментів, що використовуються при виготовленні деталі на j -му верстаті, шт.

Технічними обмеженнями для розробленої системи критеріїв оптимальності є обмеження на ринкові ціни заготовки та деталі; балансову вартість верстатів кожного типу; споживання електроенергії; виробничі площі, яку займають верстати і їх виносні пристрої; вартість орендної плати за використання виробничих площ та інтенсивності відмов і відновлень верстатів.

Проведене дослідження результатів вибору найвигіднішого типу токарного верстата з використанням тільки деяких критеріїв оптимальності із запропонованої системи критеріїв дало змогу встановити, що збільшення числа критеріїв об'єктивно розширює межі ефективного застосування ТП і дозволяє уточнити граничні значення величини виробничої партії деталей, які визначають найвигідніший варіант ТП. Так, при використанні запропонованої системи критеріїв межі ефективного застосування токарно-гвинторізного верстата збільшується в 2,35 рази, токарного з ЧПК – в 1,85 рази, токарного двошпиндельного з ЧПК – в 2,65 рази, а токарно-револьверного – в 1,7 рази (рисунок 2), що

підтверджує доцільність застосування багатокритеріальної оптимізації та використання розробленої системи критеріїв для вибору найвигіднішого варіанту ТП обробки тіл обертання.

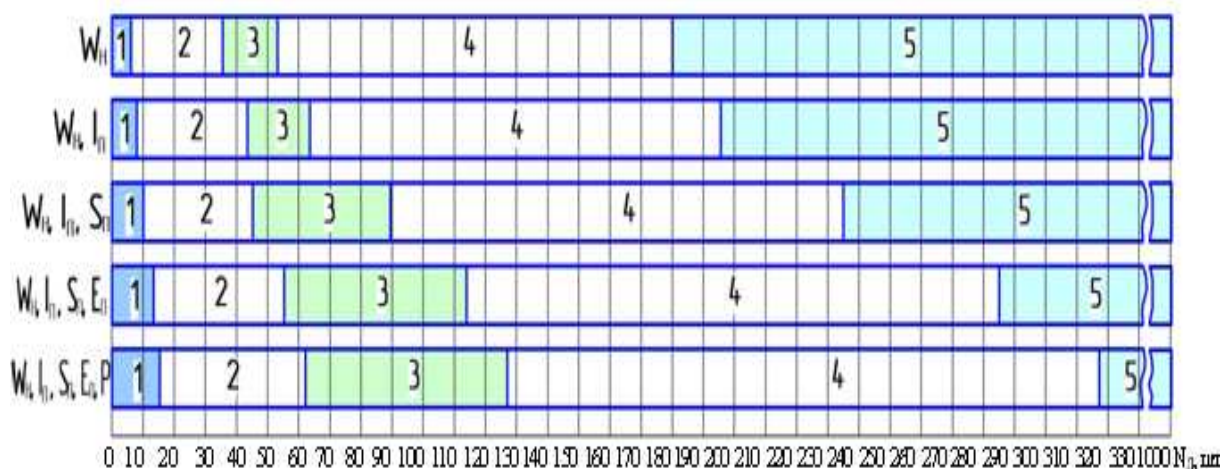


Рисунок 2 – Діаграма впливу числа врахованих критеріїв оптимальності на величину виробничої партії деталей, межі якої визначають оптимальний тип токарного верстата:

- 1 – токарно-гвинторізний; 2 – токарний з ЧПК; 3 – токарно-револьверний;
4 – токарний двошпindelний з ЧПК; 5 – токарний багатошпindelний

Вибір оптимального ТП з урахуванням кількох показників здійснюється шляхом багатокритеріальної оптимізації. Необхідність багатокритеріальної оптимізації ТП пов'язана з тим, що окремі критерії не можна звести один до іншого і вони перебувають між собою в складному взаємозв'язку, який характеризується їх суперечливістю [4].

Багатокритеріальну оптимізацію проводять різними методами. У випадку, коли параметри та обмеження в математичних моделях приймають точні значення і мають умовно детермінований характер, використовуються методи: вагових коефіцієнтів, послідовних поступок і близькості до ідеальної точки.

В умовах невизначеності, коли вихідні дані параметрів математичних моделей мають стохастичний характер, використовуються методи теорії нечітких множин та аналізу ієрархій.

З метою вибору ефективного методу багатокритеріальної оптимізації ТП був проведений порівняльний аналіз результатів оптимізації токарних операцій, отриманих різними методами. Токарна обробка є з найбільш трудомісткою при обробці тіл обертання і відзначається багатоваріантністю, а тому в найбільшій мірі впливає на вибір найвигіднішого варіанту ТП. Дослідження проводилися на прикладі вибору оптимального типу токарного верстата для обробки фланця. Результати розрахунків дозволили виділити дві групи методів, які ґрунтуються на однакових принципах оптимізації та забезпечують однакові результати. До першої групи входять методи вагових коефіцієнтів та аналізу ієрархій, а до другої – методи близькості до ідеальної точки, послідовних поступок і нечітких множин.

Оптимізація методами близькості до ідеальної точки, послідовних поступок і з використанням теорії нечітких множин базується на принципі гарантованого результату, згідно з яким у оптимального варіанту значення одночасно усіх критеріїв найбільш наближені до оптимальних величин.

Оптимізація методом вагових коефіцієнтів і аналізу ієрархій базується на принципі сумарного впливу, при якому враховується сумарний внесок абсолютних значень кожного критерію. На підставі отриманих результатів встановлено, що методи вагових коефіцієнтів і аналізу ієрархій забезпечують більш об'єктивну оцінку і найчастіше є найбільш прийнятними для оптимізації ТП обробки деталей.

Встановлено також, що при наявності не більше трьох конкуруючих варіантів, усі методи оптимізації забезпечують однакові результати і вибір найбільш ефективного з них варто проводити з урахуванням мінімальної складності та трудомісткості розрахунків. У випадку, коли вихідні дані параметрів математичних моделей мають умовно детермінований характер, варто застосовувати метод вагових коефіцієнтів, а при стохастичному характері вихідних даних – метод з використанням теорії нечітких множин.

Таким чином, у випадку, коли вихідні дані параметрів математичної моделі мають умовно детерміновані значення, оптимізацію ТП варто проводити методом вагових коефіцієнтів. При стохастичному характері вихідних даних і наявності не більше трьох конкуруючих варіантів ТП доцільно застосовувати метод з використанням теорії нечітких множин, а при наявності більше трьох конкуруючих варіантів – метод аналізу ієрархій.

Для розрахунку критеріїв оптимальності та ухвалення рішення, пов'язаного з вибором найвигіднішого ТП необхідно визначити норми часу обробки деталі для кожного з порівнюваних варіантів ТП, що вимагає значних витрат часу. З метою скорочення часу на технологічну підготовку виробництва визначення трудомісткості обробки деталі пропонується здійснювати за допомогою системи автоматизованої оцінки на підставі усереднених кількісних показників нормативної інтенсивності формоутворення.

Трудомісткість обробки деталі визначається з використанням показника нормативної інтенсивності формоутворення металорізальних верстатів, на яких вона обробляється

$$T_{штк} = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^{p_j} \frac{L_{ij}}{W_{Hij}} \right),$$

де m – кількість металорізальних верстатів, що застосовуються при обробці деталі, шт; p_j – кількість оброблюваних поверхонь деталі на j -му верстаті, шт; L_{ij} – довжина i -ї поверхні, оброблюваної на j -му верстаті, мм; W_{Hij} – показник нормативної інтенсивності формоутворення i -ї поверхні на j -му верстаті, мм/хв.

Для визначення усереднених кількісних показників нормативної інтенсивності формоутворення металорізальних верстатів розроблені аналітичні залежності, які враховують конструктивні параметри оброблюваних поверхонь, технологічні особливості обробки та ступінь концентрації технологічних переходів.

У загальному випадку ці залежності мають вигляд:

$$W_H = (a \cdot e^{b \cdot d} + c) \cdot (m \cdot \ln(L + f) + g) \cdot (h + k \cdot N),$$

де a, b, c, f, g, h, k, m – коефіцієнти, що характеризують тип верстата, характер і умови обробки та матеріал заготовки; d – діаметр обробки, мм; L – довжина обробки, мм; N – кількість інструментів у налагодці, шт.

Аналітичні залежності отримані шляхом апроксимації результатів розрахунків інтенсивності формоутворення з використанням загальномашинобудівних нормативів часу та режимів різання для різних типів верстатів і технологічних переходів, що застосовуються при обробці деталей типу тіл обертання. У таблиці 1 наведено деякі аналітичні залежності для визначення нормативної інтенсивності формоутворення поверхонь фланця на верстаті з ЧПК.

Таблиця 1 – Аналітичні залежності для спрощеного визначення нормативної інтенсивності формоутворення поверхонь фланця на верстатах з ЧПК

Характер обробки	Аналітична залежність
Чорнове точіння	$W_H^* = (0,72 \cdot \ln(L + 75,25) - 1,17) \cdot (1,17 \cdot e^{-5,810^{-3} \cdot D} + 0,57) \cdot (55,9 + 33,2 \cdot N)$
Чорнове розточування	$W_H^* = (0,485 \cdot \ln(L + 76,15) - 1,13) \cdot (1,06 \cdot e^{-3,210^{-3} \cdot D} + 0,167) \cdot (26,7 + 34,2 \cdot N)$
Свердління	$W_H^* = (88,83 \cdot e^{-0,019 \cdot D} + 7,56) \cdot (0,77 \cdot \ln(L + 58,46) - 2,25)$
Фрезерування пазів	$W_H^* = (1,66 \cdot \ln(L + 13,4) + 7,4) \cdot (7,7 \cdot e^{-0,075 \cdot D} + 1,2)$
Зовнішнє шліфування	$W_H^* = (0,47 \cdot e^{-1,4310^{-3} \cdot D} + 0,5) \cdot (9,82 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,032 \cdot L} + 0,23)$
Внутрішнє шліфування	$W_H^* = (-0,935 \cdot e^{-0,021 \cdot D} + 1,447) \cdot (0,053 \cdot e^{-0,025 \cdot L} + 0,024)$

Автоматизований розрахунок трудомісткості здійснюється на підставі розробленої інформаційної моделі деталі, сформованої з інформаційних моделей окремих поверхонь, що представлені десятипозиційними кодами, які враховують основні конструкторсько-технологічні параметри деталі. Розроблена методика визначення трудомісткості обробки забезпечує отримання результатів з похибкою в межах 15% у порівнянні з розрахунками за нормативами.

Для перевірки об'єктивності запропонованої системи автоматизованої оцінки були проведені розрахунки трудомісткості обробки деталей типу вала та фланця для випадків їх обробки на універсальних верстатах з ручним керуванням та на верстатах з ЧПК (таблиця 2). При обробці на універсальних верстатах з ручним керуванням застосовувалися токарно-гвинторізний, вертикально-фрезерний та круглошліфувальний верстати, а при обробці на верстатах з ЧПК відповідно токарний, фрезерний та круглошліфувальний верстати з ЧПК.

Таблиця 2 – Результати розрахунку трудомісткості обробки деталей

Тип деталі	Верстати	Трудомісткість обробки, хв		Похибка
		за нормативах	автоматизована	
Вал	з ручним керуванням	17,5	19,1	9,3
	з ЧПК	10,2	10,9	6,4
Фланець	з ручним керуванням	20,2	28,3	14,4
	з ЧПК	12,4	11,1	10,2

Таким чином, висока достовірність результатів, отриманих за допомогою запропонованої системи автоматизованої оцінки дозволяє використовувати її для визначення трудомісткості обробки та значень критеріїв оптимальності для конкуруючих варіантів ТП обробки деталей типу тіл обертання.

Для визначення найвигідніших компоновок верстатних пристроїв для універсальних та багатоцільових верстатів з ЧПК розроблено систему багатокритеріального вибору, яка базується на уявленні конструкції як ієрархічної системи, що складається з чотирьох рівнів, що відрізняються між собою за кількістю компонентів і ступенем узагальнення.

За критерії оптимальності прийнято похибку установаження заготовки ($\epsilon_y \rightarrow \min$), ступінь гнучкості ($G_{ВП} \rightarrow \max$), вартість ($C_{ВП} \rightarrow \min$), металомісткість ($M_{ВП} \rightarrow \min$). Технічні обмеження на вибір компоновки ВП у процесі оптимізації такі: похибка установаження заготовки не повинна перевищувати допустиму величину $\epsilon_y \leq [\epsilon_y]$, ступінь гнучкості ВП повинен бути більше або дорівнювати необхідному за умовами виробництва $G_{ВП} \geq [G_{ВП}]$, а металомісткість ВП повинна бути меншою, ніж вантажопідйомність стола верстата $M_{ВП} < B_{верст}$. Математична модель багатокритеріального синтезу структури компоновки ВП має такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_y = \sqrt{\epsilon_\delta^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_{виц}^2 + \epsilon_{yc}^2 + \epsilon_{зн}^2} \rightarrow \min, \\ G_{ВП} = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n t_{неp_i} / \sum_{i=1}^n t_i \cdot N_i} \rightarrow \max, \\ C_{ВП} = \sum_{a=1}^b C_{конст_a}^2 \cdot t_{np_a} + \sum_{q=1}^r k_q \cdot \left(C_{mq} + \sum_{j=1}^m C_{jq} \cdot t_{jq} \right) + \sum_{e=1}^d C_e \cdot f_e + C_{скл}^2 \cdot t_{скл} + C_{ин} \rightarrow \min, \\ M_{ВП} = \sum_{k=1}^p m_k + m_{заг} \rightarrow \min. \end{array} \right.$$

тут ϵ_δ – похибка базування заготовки; ϵ_3 – похибка закріплення заготовки; $\epsilon_{виц}$ – похибка виготовлення деталей ВП; ϵ_{yc} – похибка установаження ВП на верстаті; $\epsilon_{зн}$ – похибка зносу установочних елементів ВП; n – кількість типорозмірів деталей, що обробляються у ВП; $t_{неp_i}$ – час переналагодження ВП для обробки деталі i -го типорозміру; t_i – час обробки деталі i -го типорозміру; N_i – величина партії запуску деталей i -го типорозміру; $C_{конст_a}^2$ – годинна тарифна ставка конструктора на проектування деталі a -го найменування; t_{np_a} – витрати часу на проектування деталі a -го найменування; b – кількість найменувань деталей компоновки ВП; C_e – вартість купленої деталі e -го найменування; f_e – кількість куплених деталей e -го найменування; d – кількість куплених найменувань деталей; $C_{скл}^2$ – годинна тарифна ставка слюсаря-складальника; $t_{скл}$ – витрати часу на складання компоновки ВП; m_k – маса k -ої деталі, що входить до компоновки ВП; $m_{заг}$ – маса оброблюваної заготовки.

Синтез оптимальних компоновок верстатних пристроїв здійснюється методом послідовних поступок. Для автоматизації визначення найвигідніших компоновок верстатних пристроїв запропоновано алгоритмічну структуру системи вибору, яка складається з бази даних та трьох модулів: вихідних даних, інформаційно-пошукового, розрахункового. Основою бази даних є бібліотека функціональних елементів, розроблена на основі таблиць рішень для кожної групи функціональних елементів, де кожний елемент має кодове позначення. Будь-яка компоновка верстатного пристрою може бути записана у вигляді структурної формули, що являє собою буквено-числовий код, який складається з чотирьох груп, відокремлених одна від одної знаком тире.

Запропонована система критеріїв оптимальності об'єктивно розширює межі ефективного застосування технологічного процесу і дозволяє уточнити граничні значення величини виробничої партії деталей, які визначають найвигідніший варіант технологічного процесу.

Використання розробленого способу спрощеного автоматизованого визначення трудомісткості обробки деталей істотно скорочує витрати часу на технологічну підготовку виробництва і підвищує ефективність визначення найвигіднішого варіанту технологічного процесу механічної обробки деталей типу тіл обертання.

Розроблена система багатокритеріальної оптимізації верстатних пристроїв базується на ієрархічній структурі конструкції верстатного пристрою з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик функціональних елементів і виробничих умов на основі множини сформованих конкуруючих варіантів.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учеб. пособие / Г.В. Савицкая. — Минск: Новое знание, 2001. — 704 с.
2. Швец И.Б. Управление энергетическими ресурсами на предприятии / И.Б. Швец. — Донецк: Ин-т экономики промышленности, 2002. — 184 с.
3. Карпусь В.Е. Интенсивность формообразования технологических систем / В.Е. Карпусь // Вестник машиностроения. — М.: Машиностроение, 2000. — № 2. — С. 30–34.
4. Антушев Г.С. Методы параметрического синтеза сложных технических систем / Г.С. Антушев. — М.: Наука, 1989. — 88 с.

Надійшла до редакції 25.02.2011 р.

Карпусь В.Е., Котляр А.В., Иванов В.А. Методика многокритериальной оптимизации технологических процессов обработки деталей типа тел вращения

Рассмотрены вопросы многокритериальной оптимизации технологических процессов обработки деталей типа тел вращения и станочных приспособлений в условиях многономенклатурного производства.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, многономенклатурное производство, критерии оптимальности, методы оптимизации.

Karpus V.E., Kotlyar A.V., Ivanov V.A. A methodology for multi-criterion optimization of the technological processes of processing parts of the body of rotation type

Questions of multi-criterion optimization of the technological processes of processing parts of the body of rotation type and machine retaining devices under conditions of multi-nomenclature manufacturing are considered.

Keywords: multi-criterion optimization, multi-nomenclature manufacturing, criteria of optimality, methods of optimization.