

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

У статті розглянуто з позицій системного підходу шляхи та механізми підвищення ефективності роботи САПР ТП шляхом створення системи багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів (СБОПТП). Розглянуто практичну реалізацію та перспективи застосування запропонованого підходу.

In article are considered with position of the complex approach of the way and mechanisms of increasing to efficiency of the work CAD TP by making the system much-criterial optimization of the technological processes. The practical realization of the offered approach is considered.

При проектуванні технологічних процесів часто виникає задача вибору серед безлічі варіантів найбільш раціонального з точки зору деякого критерію й забезпечуючого задані параметри якості виготовлення деталей. В умовах ручного проектування технологічних процесів, як правило, неможливо розробляти й аналізувати велику кількість варіантів, що пов'язано зі значною трудомісткістю виконання цих робіт. Рішення цієї задачі стає можливим шляхом застосування систем автоматизації проектування технологічних процесів (САПР ТП). Ці системи значно скорочують строки проектування та дозволяють істотно підвищити якість проектних рішень за рахунок проведення оптимізації на всіх етапах технологічного проектування [1].

Метою застосування САПР ТП є знаходження оптимального техпроцесу. Проте не може бути мови про який-небудь оптимальний ТП у загальному змісті [2], тому пошук оптимального технологічного процесу проводиться відносно певних критеріїв оптимальності. Однак у різних виробничих умовах пріоритет критеріїв оптимальності різний, тому є актуальною проблема відшукування шляхів створення системи багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів.

На поточному етапі не виявлено робіт, присвячених розробці ефективних систем багатокритеріальної оптимізації техпроцесів – в першу чергу, через тяжіння до спрощення задачі.

Окремі підзадачі проблеми розглядаються у ряді робіт, зокрема в напрямку виведення методів отримання узагальнюючих критеріїв оптимальності (інтегральний підхід) та прийняття певного власного критерію оптимальності в якості визначального (диференційний підхід), однак пряме поєднання результатів робіт у двох напрямках не здатне сформулювати систему багатокритеріальної оптимізації проектування ТП внаслідок існуючих між ними концептуальними і формалізаційними протиріччями.

Наприклад, інтегральний підхід у роботі [3] полягає в розкладі загального критерію оптимізації техоперації K_{mo} до первісних коефіцієнтів:

$$K_{mo} = k_1 f_1 + k_2 f_2 + \dots + k_n f_n = \sum_{i=1}^n K_i f_i,$$

де f_i – окремі критерії, що у сукупності визначають комплексний критерій;

k_i – коефіцієнти, що визначають вагу кожного окремого критерію.

Окремі критерії розподіляються по категоріях: технічні, економічні та соціальні. При цьому обрахунку загального критерію оптимізації передують нормалізація власних критеріїв оптимізації шляхом їхнього порівняння з їх максимальним та мінімальним значенням на множині рішень.

У роботах [4, 5] пропонується визначення загального критерію (інтегральний підхід) на базі адитивного, мультиплікативного, кон'юнктивного та диз'юнктивного підходу.

У випадках диференційного підходу, тобто прийняття певного власного критерію оптимальності в якості визначального, задача зводиться до визначення деякого одного критерію оптимальності, що унеможливає зміну вектору цінності ТП і, відповідно, знижує гнучкість САПР ТП. Наприклад, відомі варіанти прийняття в якості визначального критерію оптимальності максимального прибутку [3], максимальної продуктивності [5], мінімальної собівартості [6, 7] і т.д..

Очевидно, що при інтегральних підходах постає проблема трудомісткості одночасного використання великих комплексів критеріїв оптимальності та встановлення взаємозв'язків між ними. Крім того, збільшення кількості одночасно використовуваних критеріїв оптимальності потребує встановлення їх ієрархічної структури, а існуючі методи знаходження узагальнюючих критеріїв оптимальності не дозволяють динамічно визначати взаємозв'язки між власними критеріями оптимальності, у відповідності із змінами виробничих умов і завдань. Крім цього, врахування недостатньої кількості критеріїв оптимальності призводить до перебільшення впливу окремих критеріїв та неврахування інших.

Застосування диференційних підходів достатньо ефективно при вирішенні задач проектування технологічних процесів, однак такі типи оптимізації не враховують можливість зміни виробничих пріоритетів, що робить відповідні САПР ТП не універсальними навіть в рамках окремого підприємства.

Отже, шляхи оптимізації аналізу ТП як по наперед заданих узагальнюючих критеріях оптимальності, так і за власними критеріями оптимальності, ведуть до зниження загальної ефективності САПР ТП і збільшення імовірності прийняття помилкових рішень.

Виходячи з цього, авторами висувається думка про ефективність роботи в напрямку створення єдиної системи багатокритеріальної оптимізації проектування техпроцесів (СБОПТП), що дозволить, використовуючи єдиний динамічний масив вхідних даних та статичний масив математичних моделей критеріїв оптимальності, визначати оптимальний ТП за будь-яким із базових критеріїв оптимальності, у відповідності із поточними виробничими вимогами. В якості надфункції розглядається використання масиву узагальнюючих математичних моделей оптимальності ТП.

Застосування такої системи аналізу техпроцесів дозволить позбутись визначених вище проблем та підвищити ефективність, універсальність і гнучкість САПР ТП.

Підзадачі створення СБОПТП наступні:

1. Класифікація математичних моделей критеріїв оптимальності ТП, аналіз характеристик вхідної та вихідної інформації.
2. Розробка першого рівня СБОПТП – уніфікація процесу зберігання й використання комплексу математичних моделей критеріїв оптимальності техпроцесу.
3. Класифікація узагальнюючих математичних моделей оптимальності ТП, аналіз характеристик вхідної та вихідної інформації.
4. Розробка другого рівня СБОПТП – уніфікація процесу зберігання й використання комплексу узагальнюючих математичних моделей оптимальності ТП.
5. Розробка динамічної бази знань як загальної системи зберігання й використання елементів першого та другого рівня СБОПТП.

Центральним питанням при розробці оптимального технологічного процесу є обґрунтування мети й оцінка ефективності виконання технологічних операцій або її окремих елементів, наприклад режимів різання. У завданнях, які зустрічаються в умовах оптимізації ТП, вид критеріїв оптимальності може бути різним [4], однак всі вони повинні задовольняти наступним вимогам:

- мати достатню повноту опису об'єкта;
- мати певний фізичний зміст;

- бути кількісними й виражатися однозначно певним числом;
- однозначно описуватися в математичному вигляді;
- визначатися із припустимою точністю.

Основні види використовуваних критеріїв оптимальності [5] можна об'єднати в наступні групи:

1. Техніко-економічні: максимальна продуктивність; найменший штучний час; основний і допоміжний час; коефіцієнт корисної дії устаткування; надійність роботи системи устаткування або окремих її елементів; станкоємність виробу; стабільність технологічного процесу обробки.
2. Економічні: мінімальна собівартість; найбільший прибуток; рентабельність; найменші народногосподарські приведені витрати; найменші наведені госпрозрахункові витрати; мінімальний рівень витрат на виробництво (мінімальні витрати на електричну й інші види енергії, на основні й допоміжні матеріали, мінімальні витрати на фонд заробітної плати й ін.).
3. Технологічні: надійність інструмента, точність виготовлення виробів; показники якості поверхні виробу (шорсткість, волнистість, мікротвердість, залишкові напруги й ін.); фізико-хімічні властивості виробів.
4. Експлуатаційні: зносостійкість; усталісна міцність; контактна твердість й інші показники довговічності виробів.
5. Інші: психологічні; естетичні; ергономічні.

Найбільше поширення при рішенні завдань оптимізації технологічного проектування одержали техніко-економічні, економічні й технологічні критерії оптимальності [8]. Це пов'язане з тим, що в основі розробки будь-якого ТП або рішення більш вузького завдання, наприклад розрахунку режимів різання, лежать три принципи: технічний, технологічний та економічний.

Аналіз процесів механічної обробки [4] показує, що в більшості випадків потрібно враховувати п'ять основних груп факторів:

1. *Перша група факторів* характеризує об'єкт обробки (заготовку): вид матеріалу, твердість й інші механічні властивості, спосіб одержання заготовки, її розміри, вага, точність розмірів, шорсткість поверхні.
2. *Друга група факторів* характеризує основні параметри знарядь праці (верстат, прилад, інструмент): вид, кінематику й динаміку верстата, твердість, міцність і точність окремих елементів і системи в цілому.
3. *Третя група факторів* характеризує обираєні параметри інструмента для досліджуваного процесу обробки: фізико-механічні властивості матеріалу ріжучої частини інструменту, геометричні параметри його заточки, розміри й точність, ступінь зносу, шорсткість поверхні, зернистість і вид зв'язування, стійкість інструмента.
4. *Четверта група факторів* характеризує процес механічної обробки: час і глибину обробки, швидкість, подачу, число проходів, зусилля різання, тиск, вид й спосіб подачі технологічних середовищ.
5. *П'ята група факторів* характеризує техніко-економічні показники: витрату інструмента, зношування інструмента й верстата, продуктивність і собівартість обробки, якість виробу (точність, шорсткість поверхні й фізико-хімічні властивості, вид і форму деталі, вид виробництва).

Таким чином, математичну модель деякого критерію оптимальності ТП як елемент бази знань формалізовано можна подати як трином виду: (масив вхідних параметрів $[P1..Pn]$; виконавчий механізм M ; вихідний параметр RI), показаний на рис. 1. Обов'язковим компонентом бази знань є визначені зв'язки $[P1..Pn]$ з M та M з RI . При цьому в якості вихідного параметру виступає оцінка оптимальності ТП відповідним виконавчим механізмом.

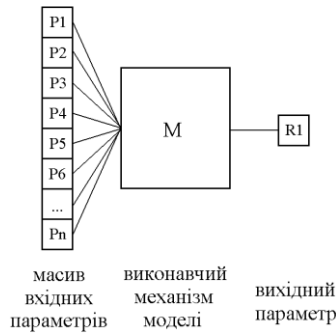


Рис. 1. Математична модель критерію оптимальності ТП як елемента бази знань

Особливістю використання моделей запропонованого виду є те, що ідентичний вихідний параметр можуть мати кілька виконавчих механізмів з масивами вхідних параметрів, що не збігаються.

З метою дослідження особливостей побудови системи багатокритеріальної оптимізації техпроцесів проведено аналіз математичних моделей критеріїв оптимальності з трьох основних груп критеріїв: техніко-економічної (максимальна продуктивність), економічної (мінімальна собівартість) та технологічної (максимальна надійність роботи інструмента).

Максимальна продуктивність. Одним з головних цільових призначень нової техніки й впроваджуваних ТП є підвищення продуктивності й полегшення умов праці. Тому одним із широко застосовуваних критеріїв оптимальності для рішення технологічних завдань і визначення режимів різання, зокрема, є максимальна продуктивність.

Продуктивністю робочої машини називається кількість оброблюваного продукту в одиницю часу [5]. Штучна продуктивність на операцію може бути визначена величиною, зворотною штучно-калькуляційному часу на цю операцію, шт/хв.

$$P = \frac{1}{t_{шт.к}} \quad (1)$$

Відомо, що час виконання операції $t_{шт.к}$ складається зі штучного часу $t_{шт}$ та підготовчо-заключного $T_{н.з}$ на всю партію деталей N

$$t_{шт.к} = t_{шт} + \frac{T_{н.з}}{N} \quad (2)$$

Складовими елементами штучного часу є: основний t_o і допоміжний час $t_{дон}$, час перерв на відпочинок і природні потреби й $t_{відн}$ і час обслуговування робочого місця $t_{обс}$. Аналіз елементів штучного часу $t_{шт}$ показує, що від режимів різання залежить t_o (або можна прийняти машинний t_m) і частину часу $t_{обс}$, затрачуваного на зміну й підналагодження інструмента.

$$t_{обс} = t'_{обс} + t_{зм}$$

Тоді формула (1) прийме вигляд

$$P = \frac{1}{(t_m + t_{зм}) + (t_{дон} + t'_{обс} + t_{відн} + \frac{T_{н.з}}{N})} = \frac{1}{t_{шт.р} + t_{шт.к.р}} \quad (3)$$

де $t_{шт.р}$ й $t_{шт.к.р}$ – частина штучно-калькуляційного часу, відповідно залежного й не залежного від режимів різання. Таким чином, штучна продуктивність, що залежить від режимів різання, визначається тільки величиною $t_{шт.р} = t_m + t_{зм}$. Машинний час у загальному вигляді рівний

$$t_m = t_p + t_x, \quad (4)$$

де t_p – час різання, хв.;

$$t_x = \frac{t_p}{\lambda} \text{ – час холостого ходу, хв.};$$

$$\lambda = \frac{L}{L_{p.x}} \text{ – коефіцієнт різання, що представляє відношення довжини різання } L \text{ до довжини робочого}$$

ходу $L_{p.x}$.

Для найпоширеніших методів обробки металів різанням (точіння, свердління, фрезерування) величина t_p може бути знайдена по формулі:

$$t_p = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i = \frac{L \cdot h}{n \cdot S \cdot t}, \quad (5)$$

де n – частота обертання заготовки, об/хв.;

S – подача, мм/об;

t – глибина різання, мм;

L – довжина оброблюваної поверхні, мм;

h – величина припуску, мм;

i – число проходів.

Час зміни й підналадки інструменту, приведений до однієї деталі, рівний:

$$t_{zm} = \frac{T_{zm} \cdot t_p}{T}, \quad (6)$$

де t_{zm} – час, затрачуваний на кожну заміну інструменту, хв.;

T – період стійкості інструменту, хв.

Розглянуто випадок, коли $t_x=0$, а частина штучно-калькуляційного часу, що залежить від режимів різання,

$$t_{um.p} = t_p \lambda + t_p \frac{T_{zm}}{T} = t_p \left(\lambda + \frac{T_{zm}}{T} \right).$$

Зробивши підстановку формули (5) і ввівши значення $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$, одержано:

$$t_{um.p} = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot h}{1000 \cdot V \cdot S \cdot t} \left(\lambda + \frac{T_{zm}}{T} \right). \quad (7)$$

Ця формула не може в такому виді використатися для оптимізації режимів різання, тому що до неї входить змінна величина стійкості інструмента T , що залежить від цих режимів відповідно до відомої формули для визначення швидкості різання V :

$$V = \frac{C_v}{T^m t^{X_v} \cdot S^{Y_v}} \cdot K_v. \quad (8)$$

Після підстановки цієї залежності у формулу (7) і відповідних перетворень одержано остаточне вираження для критерію оптимальності „мінімальний штучний час“:

$$t_{умр} = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot h}{1000 \cdot V \cdot S \cdot t} \left(\lambda + \frac{T_{зм} \cdot V^{\frac{1}{m}} \cdot t^{\frac{X_v}{m}} \cdot S^{\frac{Y_v}{m}}}{C_v^m} \right). \quad (9)$$

Отже, технологічний процес, аналіз якого виявить найменший показник „мінімальний штучний час” за визначеною моделлю, буде оптимальним за критерієм максимальної продуктивності.

Мінімальна собівартість. Показник мінімальної собівартості охоплює широке коло затрат суспільної праці, й поряд з витратами живої праці враховує витрати минулої праці, упредметненої в засобах виробництва {амортизація й ремонт устаткування, енергія, допоміжні матеріали, міряльний інструмент, приміщення}.

Цехова собівартість технологічної операції без врахування витрат на заготовку визначається наступним виразом:

$$C_{он} = C_{зн} + C_a + C_{рем} + C_{ен} + C_{\delta} + C_{нр} + C_i + C_n$$

де $C_{зн}$ – заробітна плата станочників (із нарахуванням у фонд соцстраху);

C_a – амортизаційні відрахування на заміну верстата;

$C_{рем}$ – витрати на ремонт верстата;

$C_{ен}$ – витрати на силову електроенергію;

C_{δ} – витрати на допоміжні матеріали;

$C_{нр}$ – витрати на амортизацію й ремонт універсальних пристроїв;

C_i – витрати на амортизацію, ремонт і заточку універсальних різальних інструментів;

C_n – витрати, пов'язані з використанням приміщення.

Процес обробки заготовок різанням характеризується двома факторами: необхідним для обробки часом $t_{ум}$ і залежною від нього собівартістю. Зі зміною режимів обробки ці фактори змінюються, однак простої залежності між ними не існує. Це пов'язане з тим, що зміна кожного фактора залежить від різних впливаючих параметрів і, у першу чергу, від процесу зношування інструмента.

Витрати на заробітну плату станочника можна визначити наступним чином:

$$C_{з.с} = Z_{хв} \cdot k_m \cdot t_{умр},$$

де $Z_{хв}$ – тарифна ставка 1-го розряду даної категорії робітників, коп/хв;

k_m – тарифний коефіцієнт;

$t_{умр}$ – частина штучно-калькуляційного часу, що залежить від режимів різання, хв.

Після заміни в розглянутій формулі, одержано:

$$C_{з.с} = C_{з.с}^1 \cdot t_{умр}.$$

Аналогічно розраховуються витрати, що визначають елементи собівартості по амортизації верстата C_a , по експлуатації пристроїв $C_{нр}$ й амортизації приміщень C_n , наведених до 1 хвилини роботи устаткування:

$$C_a = C_a^1 \cdot t_{умр};$$

$$C_{нр} = C_{нр}^1 \cdot t_{умр};$$

$$C_n = C_n^1 \cdot t_{умр}.$$

В цьому випадку собівартість операції, що залежить від режимів різання, може бути визначена по залежності:

$$C_{он.нр} = C_{з.с}^1 \cdot t_{умр} + C_a^1 \cdot t_{умр} + C_{нр}^1 \cdot t_{умр} + C_n^1 \cdot t_{умр} + C_i^1,$$

де C_i^1 – інструментальні витрати, наведені до однієї заготовки.

Ввівши визначення $R = C_{з.с}^1 + C_a^1 + C_{np}^1 + C_n^1$, визначено положення мінімуму кривої штучної собівартості $C_{он.пер}$ розрахунковим шляхом, використовуючи вираз:

$$C_{он.пер} = R \cdot t_{умр} + C_i^1 \quad (10)$$

Інструментальні витрати на одну деталь можна визначити по формулі:

$$C_i^1 = \frac{M}{q},$$

де M – інструментальні витрати, наведені до одного періоду стійкості;
 q – число деталей, оброблених за період стійкості.

При цьому:

$$q = \frac{T}{t_p},$$

де t_p – час різання інструментом кожної заготовки, хв.

Інструментальні витрати, наведені до одного періоду стійкості:

$$M = \frac{S_i}{n_t} + C_{пер}^1 + C_{зам.ін},$$

де S_i – покупна (початкова) вартість інструмента;

$C_{пер}^1$ – вартість переточування інструмента, наведена до одного періоду стійкості;

n_t – число періодів стійкості;

$C_{зам.ін}$ – вартість заміни інструмента, що затупився, наведена до одного періоду стійкості.

Після підстановки всіх залежностей отримано:

$$C_{он.пер} = R \cdot t_{умр} + \frac{t_p}{T} \cdot M \quad (11)$$

З огляду на те, що $t_{умр} = t_m + t_{зм}$, а $t_m = \frac{t_p}{\lambda}$, й враховуючи залежність $t_p = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i = \frac{L \cdot h}{n \cdot S \cdot t}$ для часу різання t_p , отримано:

$$C_{он.пер} = \frac{L \cdot h}{n \cdot S \cdot t \cdot \lambda} \cdot R + \frac{T_{зм}}{T} \cdot \frac{L \cdot h \cdot R}{n \cdot S \cdot t} + \frac{1}{T} \cdot M \cdot \frac{L \cdot h}{n \cdot S \cdot t} \quad (12)$$

Для одержання остаточного виду функції мінімальної собівартості, виконується заміна змінних n і T на їх залежності від швидкості різання V , й після перетворень отримано:

$$C_{он.пер} = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot h}{1000 \cdot V \cdot S \cdot t} \left(\lambda \cdot R + \frac{(R \cdot T_{зм} + M) \cdot V^{\frac{1}{m}} \cdot t^{\frac{X_v}{m}} \cdot S^{\frac{Y_v}{m}}}{C_v^{\frac{1}{m}}} \right) \quad (13)$$

Отже, техпроцес, аналіз якого виявить найменший показник за визначеною моделлю, буде оптимальним за критерієм мінімальної собівартості.

Максимальна надійність роботи інструмента. Прикладом обчислення надійності роботи інструменту в рамках виконання ТП можна визначити величину, що виражає ефективність роботи інструменту N , прямо пропорційну максимальній кількості деталей q , оброблених за період стійкості згідно формули:

$$N = q = \frac{T}{t_p}, \quad (14)$$

де t_p – час різання інструментом кожної заготовки, хв.;

T – період стійкості інструменту, хв.

Використавши відому формулу $t_p = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i = \frac{L \cdot h}{n \cdot S \cdot t}$, отримано наступний вираз для визначення ефективності роботи інструменту N :

$$N = \frac{T \cdot n \cdot S \cdot t}{L \cdot h}. \quad (15)$$

Таким чином, технологічний процес, аналіз якого виявить найбільший показник за визначеною моделлю, буде оптимальним за критерієм максимальної надійності роботи інструмента.

У результаті аналізу прикладів критеріїв оптимальності технологічного процесу, зроблено наступні висновки:

- 1) масиви вхідних параметрів різних моделей мають спільні сегменти (тобто є множинами, які пересікаються), що схематично показано на рис. 2;
- 2) у масивів вхідних параметрів виконавчих механізмів всередині груп критеріїв оптимальності спільні сегменти є значно більшими, ніж у механізмів з різних груп критеріїв оптимальності;
- 3) розширення комплексу математичних моделей критеріїв оптимальності ТП призводить до незначного збільшення загальної бази вхідних даних, особливо при додаванні критеріїв у групи із вже існуючими критеріями оптимальності ТП;
- 4) множина математичних моделей критеріїв оптимальності ТП та відповідна загальна база вхідних даних є скінченими, що визначає можливість створення першого рівня СБОПТП;
- 5) формат математичних моделей як підсистем (різнорідний тринომ) вимагає для уніфікації процесу зберігання й застосування комплексу математичних моделей критеріїв оптимальності техпроцесу використання спеціалізованої бази знань.

Отже, реалізація системного підходу до створення системи багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів приводить до необхідності створення комплексу математичних моделей критеріїв оптимальності ТП і бази вхідних даних, достатньої для застосування розроблених математичних моделей, як на рис. 2.

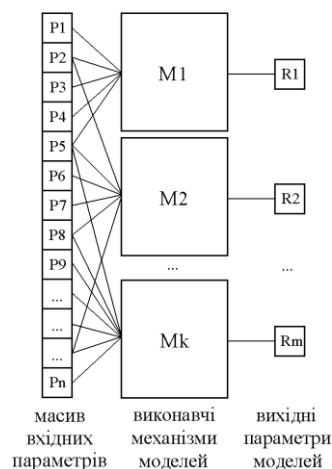


Рис. 2. Схема інтеграції матмоделей критеріїв оптимальності ТП шляхом створення загальної бази вхідних даних

При рішенні завдань оптимізації техпроцесів часто виникає необхідність досягнення декількох протилежних одна одній цілей [10]. При прийнятті рішення, що поліпшує оцінки одного критерію, наприклад мінімальної собівартості операції, погіршуються одночасно оцінки за іншими критеріями, наприклад найбільшій продуктивності й ін. У таких випадках виникає завдання оцінки й порівняння різних проектних рішень при так званому векторному критерії ефективності. З цією метою використовуються узагальнюючі критерії оптимальності ТП, які є скалярною функцією власних критеріїв оптимальності і враховують ступінь досягнення всіх цілей у сукупності, відбиваючи їхню відносну значимість.

Оскільки кожний із критеріїв оптимальності є функцією керованих змінних, то й узагальнюючий критерій оптимальності також можна розглядати як деяку функцію керованих змінних, тобто цільову функцію. При цьому підході (згортанні векторного критерію) завдання порівняння рішень за векторним критерієм фактично замінюється завданням вибору способу згортання й визначення значення коефіцієнтів, що беруть участь у цьому згортанні.

Виділено наступні групи узагальнюючих критеріїв оптимальності ТП незалежно від способу згортання:

- 1) однорідні (без визначення основного власного критерію, вага кожного власного критерію оптимальності визначається певним коефіцієнтом);
- 2) неоднорідні (один з критеріїв наперед приймається визначальним).

Існують наступні однорідні узагальнюючі критерії оптимальності техпроцесів [5].

Адитивний критерій – в якості узагальнюючого критерію береться зважена сума власних критеріїв:

$$F(X) = \sum_{j=1}^k \alpha_j K_j(X),$$

де X – керовані змінні;

α_j – невід’ємні коефіцієнти, значення яких вибираються виходячи зі ступеня важливості окремих цілей і визначаються на підставі раніше вирішених аналогічних задач або методом проб.

В останньому випадку вагові коефіцієнти підбираються при аналізі результатів, одержуваних при різних значеннях цих коефіцієнтів, а α_j є некерованою змінною.

Мультиплікативний критерій. – як узагальнюючий критерій береться зважений добуток власних критеріїв:

$$F(X) = \prod_{j=1}^k (K_j(X))^{\alpha_j}.$$

Кон’юнктивний критерій оцінює кожне рішення з точки зору мети, степінь досягнення якої з врахуванням „вагового” коефіцієнта у цьому випадку найменша:

$$F(X) = \min_{1 \leq j \leq k} \alpha_j \cdot K_j(X).$$

Диз’юнктивний критерій протилежний попередньому й оцінює рішення з точки зору мети, степінь досягнення якої з врахуванням вагового коефіцієнта у цьому випадку максимальна;

$$F(X) = \max_{1 \leq j \leq k} \alpha_j \cdot K_j(X).$$

Прикладами неоднорідних узагальнюючих критеріїв оптимальності техпроцесів є наступні критерії.

Виділення найбільш важливого критерію передбачає визначення з набору власних критеріїв оптимальності одного, котрий приймається за узагальнюючий, а інші розглядаються як критерії допустимості.

Метод послідовних поступок для вибору найбільш важливого критерію передбачає упорядкування всіх кількісних цілей в порядку убуття їхньої значимості.

Отже, математичну модель деякого узагальнюючого критерію оптимальності ТП як елемент бази знань формалізовано можна подати як чотирьохсегментну структуру виду: (масив вхідних параметрів $[R1..Rm]$; масив

ваг вхідних параметрів $[K1..Km]$; виконавчий механізм узагальнюючого критерію N ; вихідний параметр $U1$), показано на рис. 3. На відміну від моделі власного критерію оптимальності, модель узагальнюючого критерію оптимальності містить масив коефіцієнтів $[K1..Km]$, як правило, унікальний для кожного виконавчого механізму N . Компонентами елементу бази знань є визначені зв'язки $[R1..Rm]$ з N , $[K1..Km]$ з N , та N із $U1$. При цьому в якості вихідного параметру виступає узагальнена оцінка оптимальності ТП відповідним виконавчим механізмом.

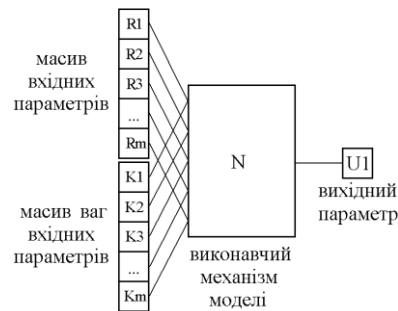


Рис. 3. Математична модель узагальнюючого критерію оптимальності ТП як елемента бази знань

Особливістю моделей узагальнюючих критеріїв оптимальності ТП є можливість як статичного використання масивів коефіцієнтів, так і їх динамічної зміни. Для однорідних узагальнюючих критеріїв оптимальності техпроцесів $[K1..Km]$ містить вагові коефіцієнти, для неоднорідних – рангові.

Оскільки формалізовані математичні моделі власних і узагальнюючих критеріїв оптимальності технологічних процесів мають однотипну структуру й принцип дії, то доречним є використання єдиної бази знань з однотипною двоярусною архітектурою для зберігання й використання критеріїв оптимальності ТП з метою вирішення задач технологічної підготовки виробництва [11].

Використання спеціалізованої бази знань розробленої структури дозволяє виконувати операції з власними й узагальнюючими критеріями оптимальності, та дозволяє визначати оптимальний технологічний процес за будь-яким із відомих критеріїв. Визначається перспективним використання таких спеціалізованих баз знань для інших цілей (наприклад, для автоматизованого порівняльного аналізу різних моделей однакових критеріїв оптимальності) та в інших областях застосування (зокрема, для зберігання та використання вузлових та ієрархічних математичних моделей технічних об'єктів).

Аналіз наведених особливостей створення системи багатокритеріальної оптимізації ТП приводить до наступних висновків:

1. Визнається важливим застосування системного підходу до створення системи багатокритеріальної оптимізації проектування техпроцесів (СБОПТП), однак методологія такого підходу розвинена недостатньо. У відомих теоретичних роботах не ставиться завдання створення такої методології, що дозволила б з єдиних позицій розробити математичну модель предметної області системи багатокритеріальної оптимізації проектування технологічних процесів.
2. Визначено, що вирішення задачі створення СБОПТП вимагає розробки комплексу математичних моделей власних і узагальнюючих критеріїв оптимальності ТП, що тягне за собою визначення бази вхідних даних і зв'язків для кожної з математичних моделей.
3. Скінченність математичних моделей критеріїв оптимальності ТП, що визначається виробничими завданнями, та скінченність загальної бази вхідних даних, що визначається параметрами математичних моделей критеріїв оптимальності, визначають можливість створення системи багатокритеріальної оптимізації проектування технологічних процесів.
4. Доведено, що розширення комплексу математичних моделей критеріїв оптимальності ТП призводить до незначного збільшення загальної бази вхідних даних, особливо при додаванні критеріїв у групи із вже

- існуючими критеріями оптимальності ТП, що визначає можливість створення системи багатокритеріальної оптимізації проектування ТП, яка враховує *весь* можливий спектр техніко-економічних цілей виробництва.
5. Розроблена структура спеціалізованої бази знань дозволяє додавати, корегувати та видаляти власні й узагальнюючі критерії оптимальності, та є ефективною в якості надбудови для генераторів технологічних процесів САПР ТП [12]. Дана структура спеціалізованої бази знань дає можливість проведення порівняльного аналізу споріднених критеріїв оптимальності ТП шляхом їх однонаправленого застосування в цільовій області.
 6. В рамках вирішення задачі створення системи багатокритеріальної оптимізації проектування технологічних процесів, авторами розроблено тестову систему СБОПТП „УніСАПРТП-2”, що на основі єдиної бази вхідних даних визначає оптимальний ТП за 7 видами критеріїв оптимальності (максимальна продуктивність, найменший штучний час, мінімальна собівартість, найбільший прибуток, рентабельність, мінімальні витрати на основні й допоміжні матеріали, надійність інструмента) та 5 видами узагальнюючих критеріїв оптимальності.
 7. Перевагою розробленої СБОПТП є можливість окремого використання її першого рівня як диференційного модуля САПР ТП, а другого – як інтегрального модуля. Комплексне ж застосування СБОПТП типу „УніСАПРТП-2” дозволяє не тільки поєднати переваги диференційного й інтегрального підходів до оптимізації проектування ТП, а й набути нові вищевказані властивості, що є наслідком застосування системного підходу до вирішення задачі підвищення ефективності роботи САПР ТП.

Література

1. Корсаков В.С., Капустин Н.М., Темпельгоф К.-Х., Лихтенберг Х. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / под общ. ред. Капустина Н.М. – М.: Машиностроение, 1985. – 304с.
2. Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1980. – 265с.
3. Мишура Е.В. Комплексный подход в оптимизации технологических операций механообработки на основе использования нейросетевых технологий // Сборник докладов Международной научной конференции "НСТИП". Краматорск- 2005. – С.83-87.
4. Аверченков В.И., Горленко О.А. Проектирование технологических процессов на основе системного подхода // Учебное пособие. – Брянск: БИТМ, 1986. – 88с.
5. Аверченков В.И. Оптимизация технологических процессов в САПР ТП // Учебное пособие. – Брянск, 1987. – 108с.
6. Лапа М.В. Методы формального представления технологических знаний с использованием нечетких множеств // Сборник научных трудов СНИЯЭиП. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2003, №7. – С.231-236.
7. Захаров М.В., Чибиряк Я.И., Яременко В.П., Бей Р.В. Моделирование та оптимізація виробничої та експлуатаційної технологічності машин: Навчальний посібник. – Суми: СНАУ. – 2001. – С.34.
8. Митрофанов В.Г. Особенности решения задач оптимизации для массового и мелкосерийного производства. / Адаптивное управление технологическими процессами на станках. – М., 1980. – С.349-388.
9. Клименко Г.П., Васильченко Я.В., Андронов О.Ю., Ткаченко М.А. Надійність процесу експлуатації різального інструменту на важких верстатах // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць, випуск 15 – Краматорськ–Київ, 2004.
10. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении / Под ред. Г.К. Горанского. – Минск: Вышэйшая школа, 1976. – Т.1 – 352с.

11. Мазурець О.В. Застосування нейросхемних технологій для мультикоефіцієнтної оптимізації проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин // Збірник наукових праць за матеріалами науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2006». Хмельницький – 2006. – С.15-23.
12. Мазурець О.В. Розпізнавання та аналіз структури технологічних процесів з використанням моделей Маркова на базі нейронних схем. // Матеріали сьомої Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції „Машинобудування України очима молодих: Прогресивні ідеї – наука – виробництво”. Одеса – 2007. – С.8–11.