

КОНЦЕПЦІЯ І АЛГОРИТМ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Наведено нову концепцію, метод і алгоритм ієрархічного багатокритеріального структурно-параметричного оптимізаційного синтезу машинобудівних конструкцій (МБК), в основу яких покладено генерування й аналіз альтернативних структур МБК, їх оптимізаційний синтез і комплексну оцінку якості на кінцевій стадії проектування за інтегральним показником якості — функцією сумарної корисності та економічною оцінкою технічного рішення — компенсацією за корисність.

Однією з найважливіших проблем сучасного машинобудування є проблема обґрунтованого вибору оптимальних конструкцій, скорочення термінів розроблення та виготовлення машин і механізмів, раціонального зниження їхньої вартості, підвищення якості та конкурентоздатності, що безпосередньо пов'язано з розширенням їхніх функціональних можливостей та створенням методів вибору оптимальної структури й параметрів.

Сучасний стан розвитку обчислювальної техніки і прикладного програмного забезпечення, зокрема застосування таких добре знаних пакетів як MathCAD, AutoCAD, MathLAB, Mathematica, SolidWork, ProIngenier, COSMOS, NASTRAN, COMPAS, ПРОЧНОСТЬ та інші, дозволяє швидко та якісно проаналізувати й спроектувати машинобудівну конструкцію довільної складності. Однак деякі з них є спеціалізованими і призначені для моделювання та синтезу конкретних систем, а інші — універсальними — інструментом для розв'язання інженерних задач, залишаючи користувачу проблеми постановки задачі, формування розрахункових моделей, вибір методів розв'язання задач і особливо — оцінку отриманих результатів та вибір альтернативних шляхів подальшого розрахунку чи зміни типу або структури майбутньої конструкції. Крім цього, у згаданих програмних продуктах подані для користування лише типові методи одно- і багатокритеріальної оптимізації, кожен з яких має свої обмеження щодо застосування, точності та швидкості отримання результату.

Задачу синтезу МБК в залежності від того, проектують принципово нову чи удосконалюють існуючу конструкцію, розв'язують по-різному. Удосконалення МБК розпочинають уже з існуючого прототипу, параметри й характеристики якого відомі. Тому його оптимізацію в загальному випадку зводять до багатокритеріального, а переважно — до однокритеріального, параметричного оптимізаційного синтезу [1-13]. У випадку, коли проектують принципово нову МБК, її синтез розпочинають з побудови структурної схеми, відповідний вибір конструктивних параметрів якої у подальшому забезпечить їй оптимальні характеристики.

Процедури структурного й параметричного синтезу МБК на сьогодні виконують незалежно, застосовуючи при цьому різні за суттю математичні моделі та методи [1, 8, 14-16]. Розбиття єдиної комплексної задачі на дві окремі — структурний і параметричний синтези МБК не дає можливості комплексно, із системних позицій, оцінити майбутню конструкцію, оскільки якісні характеристики й властивості структури майбутньої МБК виявляють себе лише при розгляді її на рівні конструктивних параметрів. Крім цього, для оцінки якості структури майбутньої МБК не застосовують критерії, за якими оцінюватимуть її на стадії параметричного синтезу. Лише об'єднання процедур структурного й параметричного синтезу в єдиний процес структурно-параметричного синтезу та оцінки структури і співвідношення конструктивних параметрів за спільними критеріями якості, на нашу думку, дозволить комплексно, із системних позицій, оцінити альтернативні варіанти МБК і вибрати найкращий (оптимальний) для подальшого опрацювання і впровадження у виробництво.

З огляду на сказане, розроблення нових та удосконалення існуючих моделей, методів та алгоритмів багатокритеріального синтезу машинобудівних конструкцій і технічних систем є на сьогодні задачею актуальною і важливою.

Нижче наведені розроблені нами концепція, метод і алгоритм ієрархічного багатокритеріального структурно-параметричного оптимізаційного синтезу МБК, в основу яких покладено генерування й аналіз альтернативних структур МБК, їх оптимізаційний синтез і комплексну оцінку якості на кінцевій стадії проектування за інтегральним показником якості — функцією сумарної корисності та економічною оцінкою технічного рішення — компенсацією за корисність, спроектувавши множину альтернативних парето-оптимальних варіантів МБК в множину реальних критеріїв якості.

Узагальнений алгоритм ієрархічного багатокритеріального структурно-параметричного оптимізаційного синтезу МБК подамо у вигляді схеми, зображеної на рис. 1.

На початковій стадії за умовами технічного завдання (ТЗ) на проектування МБК згенеруємо множину альтернативних структур МБК. Для цього можна скористатися базою даних (БД) існуючих і вже апробованих МБК та відомими методами структурного синтезу [14-16]. У результаті такого генерування отримаємо низку структур МБК ($M_1, M_2, \dots, M_n$), які в принципі можуть задовольнити умови проектування (ТЗ).

Наступний крок — параметричний синтез кожного з альтернативних варіантів МБК. На цій стадії формуємо математичну модель МБК, задаємо межі зміни проектних параметрів, функціональні обмеження, вводимо локальні критерії якості та критеріальні обмеження. Застосовуючи відомі методи перегляду простору проектування (сканування, статистичних випробувань, L_p -пошуку чи методу поступок [2, 5, 9]) перевіряємо непустоту множини допустимих розв'язків (D_1), вибираємо з неї ефективні (парето-оптимальні) варіанти МБК першої альтернативної структури (M_1). Якщо множина D_1 — пуста, то, коригуючи обмеження, проводимо параметричний синтез M_1 -структури до отримання хоч би одного ефективного розв'язку.

Аналогічно знаходимо ефективні розв'язки для інших альтернативних структур МБК — $M_2, M_3, \dots, M_n$.

На цій стадії синтезу для оцінки альтернативних варіантів потрібно застосовувати лише такі критерії якості МБК, які безпосередньо пов'язані з функціональними характеристиками МБК. Тут також слід зазначити, що за жорстких вимог ТЗ немає потреби добиватися непустоти множини D_i ($i=1, 2, \dots, n$) для всіх альтернативних структур МБК. Цілком достатньо отримати декілька (в граничному випадку один) ефективний варіант МБК. Це означатиме, що інші альтернативні варіанти структур МБК не можуть задовольнити умови проектування (ТЗ). Якщо ж множини D_i містять велику кількість ефективних розв'язків, то треба розв'язати нову задачу — вибрати найкращий варіант МБК з альтернативних варіантів парето-оптимальних МБК різної структури.

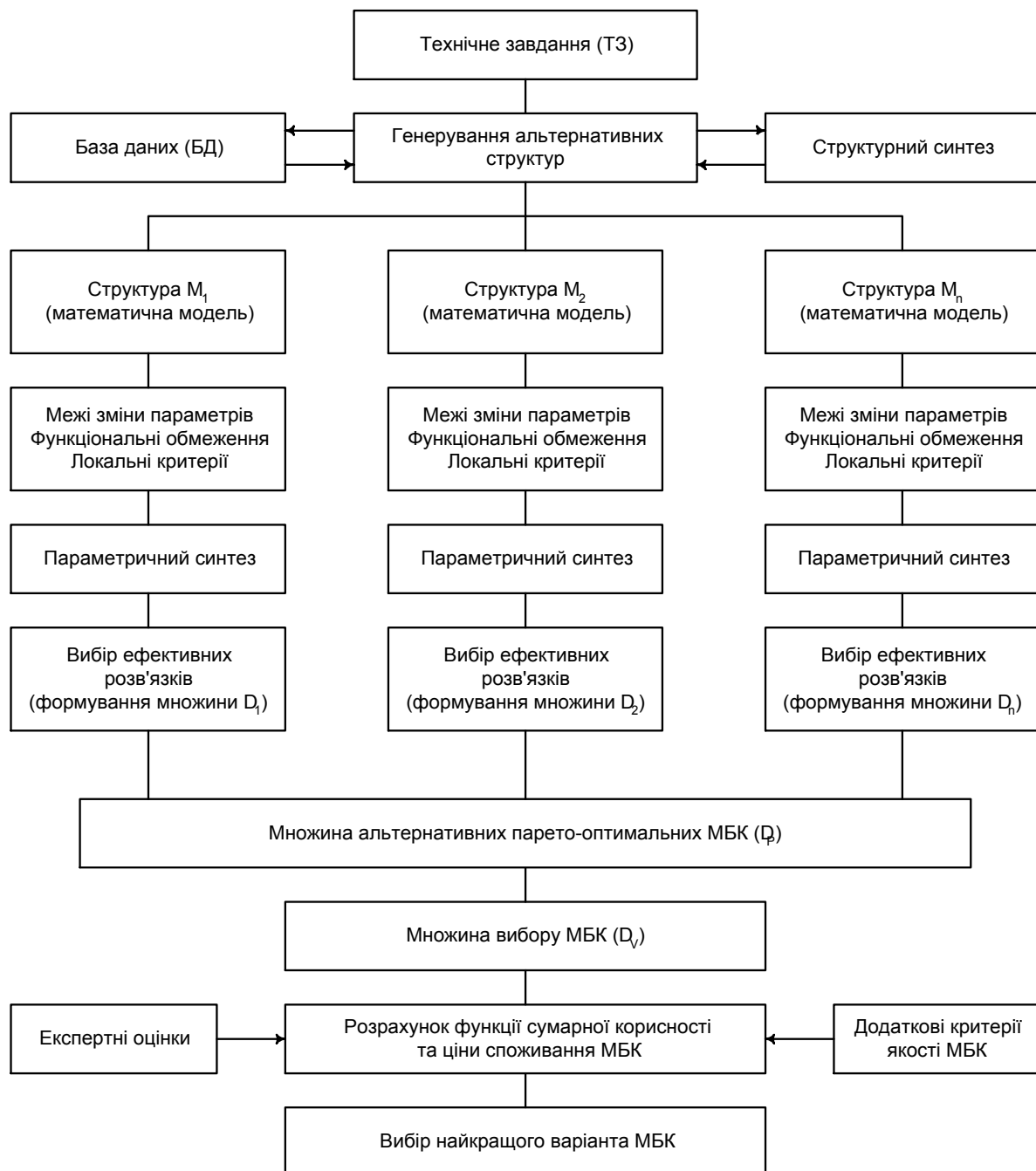


Рисунок 1

Для розв'язання цієї задачі з отриманих на попередній стадії ефективних розв'язків сформуємо нову множину — множину альтернативних парето-оптимальних варіантів МБК різної структури D_p , і спроекуємо її в множину реальних критеріїв якості — множину вибору МБК D_v , тобто, обчислимо значення всіх критеріїв, які характеризують МБК, незалежно від її структури й співвідношення конструктивних параметрів. На цій стадії синтезу до часткових критеріїв, які застосовувались на попередній стадії, можна додати будь-які додаткові критерії якості МБК, зокрема неметричні.

Оскільки всі елементи (варіанти МБК) нової множини D_v задовольняють умови синтезу (параметричні, функціональні та критеріальні обмеження) і в межах своєї структури не можуть бути покращені за всіма критеріями одночасно, то вибираючи кращий з них, ми одночасно вибираємо і оптимальну структуру, і оптимальні параметри МБК.

Отже, оцінивши альтернативні структури МБК на рівні конструктивних параметрів і вибравши найкращу з них, ми, фактично, об'єднали дві стадії синтезу (струк-

турний і параметричний) в одну — структурно-параметричний синтез МБК. Така концепція синтезу МБК дозволяє уникнути проблем, які виникають у процесі побудови складених (інтегральних) критеріїв якості або формулювання правил компромісу між частковими критеріями. Крім цього, такий концептуальний підхід до синтезу МБК дає можливість застосовувати його на різних стадіях проектування, розпочинаючи перегляд варіантів МБК на кожній наступній стадії не з початку, а з множини альтернативних варіантів МБК, побудованих на попередній стадії синтезу. На будь-якій з них можна вводити нові або вилючати неефективні критерії оцінки якості МБК, не змінюючи методу пошуку найкращого варіанта конструкції.

Для розв'язання задачі вибору найкращої МБК з альтернативних варіантів застосуємо метод [17], побудований на основних положеннях теорії сумарної корисності [18].

Введемо новий інтегральний критерій якості МБК — функцію корисності $u(S_j)$, включивши до неї відповідним чином усі часткові критерії якості МБК, крім ціни споживання C_{cn} (вартості проектування, виготовлення і обслуговування).

Оскільки альтернативні варіанти МБК з множини M_V у результаті обчислення функції корисності $u(S_j)$ отримають різні числові значення і матимуть різну ціну споживання C_{cn} , то для остаточного вибору найкращого варіанта МБК побудуємо „поле вибору” у вигляді декартової системи координат, відклавши по осі ординат значення функції корисності $u(S_j)$ альтернативних МБК, а по осі абсцис — ціну споживання C_{cn} (рис. 2).

Найкращою (оптимальною) з альтернативних варіантів вважатимемо таку МБК, яка має більше значення функції корисності $u(S_j)$ при ціні споживання C_{cn} , що не перевищує її допустимого значення C_{max} . Так, наприклад, з чотирьох конструкцій, зображених точками $K_1 - K_4$ на рис. 2, найкращою буде конструкція K_3 , оскільки вона має найбільше значення функції сумарної корисності, а вартість споживання не перевищує допустимої.

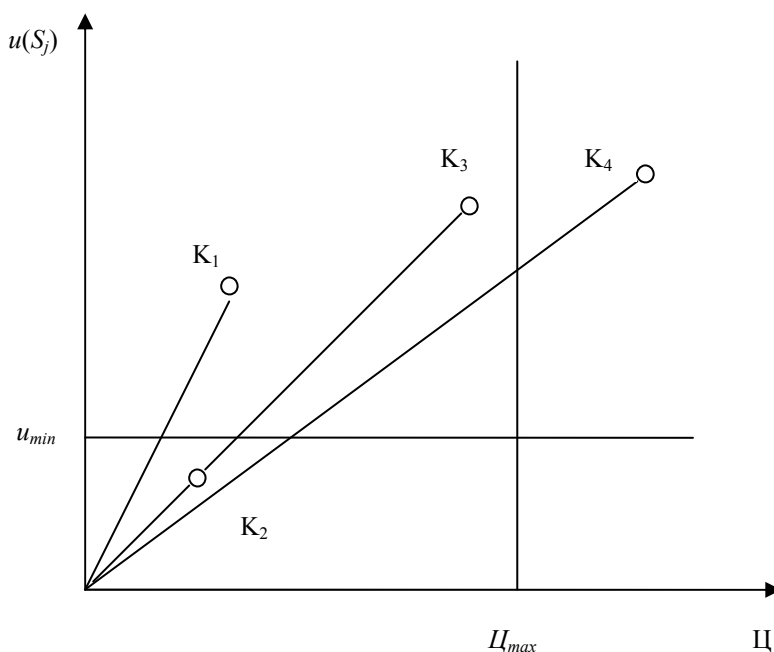


Рисунок 2

Формування множини альтернативних парето-оптимальних варіантів машинобудівних конструкцій. Щоб сформувати множину альтернативних парето-оптимальних у межах своєї моделі варіантів МБК різної структури, послідовно розв'яжемо для кожної з альтернативних структур МБК задачу векторної оптимізації:

$$f_i(x) \rightarrow \min_x; x \in D \quad (i = \overline{1, k});$$

$$D = \left\{ x \in R^n \mid g_i(x) \leq 0; g_i(x) = 0 \quad (i = \overline{1, m}); \right. \\ \left. \left(i = \overline{m+1, s} \right); a_j \leq x_j \leq b_j \quad (j = \overline{1, q}) \right\}, \quad (1)$$

де x — вектор проектних параметрів ($x \in R^n$); D — множина допустимих розв'язків; $f(x)$ — скалярна функція мети векторного аргументу; $g(x)$ — скалярні функції векторного аргументу.

Розв'язання задачі (1) проведемо за три стадії:

1. Застосовуючи метод статистичних випробувань або $L_{\pi\pi}$ -послідовностей, задаємо N пробних точок $x^1, x^2, \dots, x^N$, рівномірно розташованих у заданій області простору параметрів оптимізації. У кожній точці x^i перевіряємо виконання всіх функціональних обмежень. Якщо вони в якійсь із заданих точок не виконуються, то в подальших розрахунках її не враховуємо. Обчислюємо значення всіх часткових критеріїв якості $F_j(x^i)$, де $j=1, 2, \dots, k$ для обраних точок x^i .

2. Після перегляду точок, що належать області допустимих значень (ОДЗ), за результатами проведених розрахунків значень часткових критеріїв призначаємо критеріальні обмеження (в діалоговому режимі роботи з комп'ютером).

3. Перевіряємо непустоту області допустимих розв'язків (ОДР). Серед варіантів, які задовольняють прийняті критеріальні обмеження, вибираємо варіанти, які задовольняють усі часткові критерії. Якщо такі точки x^i в просторі параметрів існують (хоч би одна), то значення проектних параметрів і критеріїв якості запам'ятовуємо, і включаємо ці варіанти як складові множини альтернативних парето-оптимальних варіантів МБК. Якщо таких варіантів МБК не знайдено, то повертаємось до другої стадії і переглядаємо задані критеріальні обмеження. Якщо це неможливо, то збільшуємо кількість пробних точок N і переходимо до першої стадії. Якщо в результаті збільшення пробних точок і зміни критеріальних обмежень не вдалося знайти хоча б один варіант МБК, що попадає до ОДР, то це означає, що розглянута на цій стадії структура МБК не може в подальшому задовольнити умови синтезу на рівні проектних параметрів, і її треба зняти з розгляду.

Аналогічно проводимо багатокритеріальний оптимізаційний параметричний синтез МБК інших альтернативних структур, вибираємо з ОДР ефективні розв'язки і включаємо їх до множини альтернативних парето-оптимальних варіантів МБК (див. рис. 1). Для більшої об'єктивності при формуванні множини альтернативних парето-оптимальних варіантів МБК можна застосувати й інші методи пошуку оптимальних розв'язків, наприклад, послідовних поступок, оптимізації за головним чи інтегральним критеріями якості тощо. Всі отримані варіанти альтернативних МБК в подальшому стануть елементами вибору найкращого варіанта (структури й параметрів) МБК.

Сформувавши таким чином множину альтернативних парето-оптимальних варіантів МБК (D_p), спроектуємо її в множину вибору МБК (D_v). Для цього обчислимо для всіх альтернативних варіантів МБК з множини D_v значення локальних критеріїв якості.

У результаті дослідження простору параметрів кожної з альтернативних структур МБК ми отримаємо парето-оптимальні варіанти цих МБК, які, так чи інакше, задовольняють умови проектування. Таких варіантів конструкцій може бути багато (в загальному випадку — безліч). Кожна з них може переважати іншу за певними критеріями і на певних режимах роботи. Крім цього, отримані парето-оптимальні варіанти МБК обов'язково відрізнятимуться за вартістю виготовлення, затратами на обслуговування тощо. Тому задача вибору найкращого з отриманих варіантів конструкції є тривіальною лише тоді, коли одна з них переважає інші за усіма критеріями при менших затратах на

розроблення, виготовлення та обслуговування. В інших випадках, коли одна з альтернативних конструкцій переважає іншу за однією групою критеріїв, але поступається їй за іншою, вибір найкращого з альтернативних варіантів конструкції потребує нових критеріїв та методів оцінки альтернативних варіантів.

Вибір кращого з альтернативних варіантів за критерієм сумарної корисності та компенсацією за корисність. Задача вибору кращого варіанта конструкції є простішою, ніж задача синтезу оптимальної системи загалом, бо не потребує встановлення аналітичного зв'язку між заданими обмеженнями та частковими критеріями якості. Для її розв'язання, тобто кінцевого вирішення питання про вибір кращого з альтернативних варіантів, затосуємо основні положення теорії сумарної корисності, теорії ігор та економічної поведінки, розмитих множин і методу експертних оцінок, охарактеризувавши кожен з альтернативних парето-оптимальних варіантів машинобудівної конструкції двома узагальненими критеріями: корисністю і компенсацією за корисність.

Кожній машинобудівній конструкції S_j , яка функціонує у q -му режимі поставимо у відповідність n -мірний вектор [17]:

$$x_{qi}^j = (x_{q1}^j, x_{q2}^j, \dots, x_{qn}^j), \quad (2)$$

де x_{qi}^j — значення i -го чинника для j -го варіанта конструкції при функціонуванні в q -тому режимі.

Враховуючи всі режими функціонування, для кожного варіанта конструкції S_j складемо $k \times n$ -матрицю значень чинників $A_j = \|x_{qi}^j\|$ ($j=1, 2, \dots, m$; $q=1, 2, \dots, k$; $i=1, 2, \dots, n$). Матрицю A_j розглянемо як сукупність багатомірних альтернативних варіантів. Позначаючи значення функції корисності j -го альтернативного варіанта S_j через $u(S_j)$ і спираючись на основні положення теорії сумарної корисності, запишемо:

$$u(S_j) = \sum_{q=1}^k \sum_{i=1}^n r_q w_{qi}^j v_i, \quad (3)$$

де r_q — ваговий коефіцієнт q -го режиму роботи конструкції ($q=1, 2, \dots, k$); w_{qi}^j — значення функції корисності, яке відповідає значенню ($j=1, 2, \dots, m$; $q=1, 2, \dots, k$; $i=1, 2, \dots, n$); v_i — ваговий коефіцієнт i -го чинника ($i=1, 2, \dots, n$).

Рівняння (3) зручно подати в матричному вигляді:

$$u(S_j) = RW_j V, \quad (4)$$

де $R = \|r_q\|$ — k -мірний рядок вагових коефіцієнтів режимів роботи МБК; $W_j = \|w_{qi}^j\|$ — $k \times n$ -матриця корисності, яка відповідає матриці $\|x_{qi}^j\|$; $V = \|v_i\|$ — n -мірний стовпчик вагових коефіцієнтів чинників.

Отже, спираючись на сказане вище, алгоритм вибору оптимального варіанта (структури та конструктивних параметрів) МБК за технічними критеріями якості подамо як послідовність таких процедур:

1. Формується матриця чинників $A_j = \|x_{qi}^j\|$.

2. За результатами експертних оцінок кожній матриці A_j ставиться у відповідність матриця корисності чинників $W_j = \|w_{qi}^j\|$; визначається вектор-стовпчик вагових коефіцієнтів чинників $V = \|v_i\|$.

3. Для кожного альтернативного варіанта (структури та співвідношення конструктивних параметрів МБК) S_j за формулами (3) або (4) визначається значення функції сумарної корисності $u(S_j)$.

4. Визначається найдоцільніший варіант (структура та співвідношення конструктивних параметрів) машинобудівної конструкції S^* , який задовольняє умову

$$u(S^*) = \max u(S_j). \quad (5)$$

Наведений алгоритм легко реалізується на комп'ютері і, за потреби, дозволяє швидко і математично обґрунтовано проаналізувати альтернативні варіанти МБК.

Для формування матриці корисності чинників $W_j = \|w_{qi}^j\|$ побудуємо в декартовій системі координат залежності функції корисності кожного з критеріїв якості МБК від його поточного значення. Це дозволить у процесі комп'ютерного аналізу альтернативних варіантів МБК автоматично формувати елементи формули (4) і обчислювати значення функції сумарної корисності МБК кожного з них. Для побудови таких математичних залежностей застосуємо методи експертних оцінок [19], розмитих множин [20] та половинного ділення [18].

Середнє значення оцінки критерію якості МБК $\bar{x}$ за результатами експертних оцінок x_i визначимо за формулою [3]:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k \mu_i x_i / \sum_{i=1}^k \mu_i, \quad (6)$$

де x_i — оцінка i -го експерта; μ_i — коефіцієнт авторитету i -го експерта; k — кількість експертів.

Дисперсію експертних оцінок обчислимо так [3]:

$$\sigma^2 = \frac{1}{k-1} \sum (x_i - \bar{x})^2. \quad (7)$$

Чим менше значення σ — середньоквадратичний розкид експертних оцінок, тим точнішою є оцінка критерію якості МБК.

Коефіцієнт авторитету експерта визначимо за формулою [3]:

$$\mu_i = \exp \left[-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right]. \quad (8)$$

Оскільки перед початком експертизи коефіцієнти авторитету невідомі, то спочатку прийемо $\mu_i = 1, i = 1, 2, \dots, k$. За оцінками експертів $x_1, x_2, \dots, x_n$ обчислимо за формулами (6) і (7) середнє значення оцінки та її дисперсію у першому наближенні. Після цього, за формулою (8) обчислимо коефіцієнти авторитету експертів μ_{i1} . Застосовуючи знайдені коефіцієнти авторитету за формулами (6) і (7) обчислюємо уточнені значення середнього значення експертної оцінки та його дисперсію. Підставивши ці значення у формулу (8), обчислимо нове значення коефіцієнтів авторитету експертів. Після кількох таких ітерацій $\bar{x}$, σ^2 та μ_i набувають своїх граничних значень, які й використовуватимемо в подальших розрахунках.

Якщо експерти оцінюють різні альтернативні варіанти МБК, то граничні значення коефіцієнтів авторитету i -го експерта при оцінці всіх альтернативних конструкцій потрібно усереднити:

$$\bar{\mu}_{iz} = \frac{1}{r} \sum \mu_{iz}^{(l)}. \quad (9)$$

Після цього за формулами (6), (7) для кожної альтернативної МБК визначаємо середнє значення оцінки критерію якості та дисперсію.

Результати експертних оцінок критеріїв якості використаємо для побудови кривих залежності функції корисності критерію від значення цього критерію в заданій точці простору проектних параметрів МБК. Для цього подамо всі критерії якості МБК в одній шкалі виміру від 0 до 1. Вважатимемо, що при співвідношенні проектних параметрів, за яких критерій якості отримав максимальне середнє значення експертної оцінки, його функція корисності дорівнює 1, якщо ж мінімальне — то 0. Таке судження цілком узгоджується з основними поняттями теорії розмитих множин [20]. Для визначення проміжних точок та апроксимування їх кривою застосуємо методи половинного ділення та експертних оцінок [18, 19]. При цьому експертам задамо питання — за якого значення критерію якості, на їхню думку, функція корисності цього критерію матиме

значення, рівне 0,5. Опрацювавши відповідно результати експертних оцінок, отримаємо третю точку в прямокутній системі координат “функція корисності критерію — значення критерію”. Аналогічно можна визначити значення функції корисності критерію, поділивши на половину суміжні відрізки на осі абсцис — значення критерію якості МБК. За отриманими таким чином точками відомими методами апроксимації кривих [21] будемо для кожного критерію якості МБК функційні залежності корисності МБК від значення цього критерію.

Прогнозування ціни споживання машинобудівної конструкції. Орієнтовно собівартість альтернативних варіантів МБК обчислимо за такою формулою [22]:

$$C_n = \frac{\sum_{i=1}^m C_{an} + \sum_{j=1}^n C_{op} + \sum_{\zeta=1}^p C_{\kappa}}{k_{зб}}, \quad (10)$$

де m — кількість складальних одиниць, що мають аналоги або аналог; C_{an} — собівартість складальної одиниці, що має аналоги або аналог; n — кількість оригінальних складальних одиниць; C_{op} — собівартість оригінальних складальних одиниць; p — кількість купованих стандартних виробів; C_{κ} — оптова ціна купованих стандартних виробів; $k_{зб}$ — коефіцієнт, який враховує затрати на загальне складання й налагодження виробу.

Собівартість оригінальних складальних одиниць визначимо за формулою [22]:

$$C_{op} = \frac{\sum S_m}{D_m} \times 100, \quad (11)$$

де матеріальні затрати за кожною назвою деталі розраховуються так:

$$S_m = [0,001C_m G_z - C_{cm} (G_z - G_d)] n_d. \quad (12)$$

Тут C_m — оптова ціна матеріалу заготовок, грн/т; G_z — маса заготовки, кг; C_{cm} — ціна стружки, грн/кг; G_d — маса обробленої деталі, кг; n_d — кількість деталей певної назви у виробі (вузлі, машині тощо); D_m — питома вага матеріальних затрат у загальній собівартості виробу, %.

Маса заготовки пов'язана з масою деталі формулою [22]

$$G_z = G_d / k_{вм}, \quad (13)$$

де $k_{вм}$ — коефіцієнт використання матеріалу заготовки, який вибирається в залежності від виду заготовки, конфігурації та маси деталі.

Якщо питому вагу матеріальних затрат у загальній собівартості виробу встановити неможливо, то собівартість нового виробу можна обчислити як суму матеріальних затрат і заробітної плати виробничих працівників. Заробітна плата виробничих працівників (з урахуванням відрахувань) визначається узагальнено так [22]:

$$S_{zn} = c_z T k_n k_d k_{cc} k_{ck}, \quad (14)$$

де c_z — середньозважена погодинна тарифна ставка основних робітників; T — сумарна трудомісткість механічного оброблення всіх деталей, які входять до виробу, нормо-год; k_n — коефіцієнт премій і доплат; k_d — коефіцієнт додаткової заробітної плати робочих; k_{cc} — коефіцієнт відрахування на соціальне страхування; k_{ck} — коефіцієнт, що враховує трудомісткість складальних робіт.

Трудомісткість оброблення окремої деталі [22]

$$T = t_n G_d k_{eон} k_{сер} k_{мт}, \quad (15)$$

де t_n — питома трудомісткість оброблення, нормо-год; $k_{eон}$ — коефіцієнт, який враховує конфігурацію та складність деталі (встановлюється для кожної групи деталей за класифікатором); $k_{сер}$ — коефіцієнт серійності виготовлення деталей; $k_{мт}$ — коефіцієнт, що враховує марку матеріалу. Рекомендації щодо вибору коефіцієнтів можна знайти в [23].

Собівартість нового варіанта МБК у такому випадку визначатиметься так:

$$C_n = \sum S_m + S_{zn}. \quad (16)$$

Після визначення затрат на матеріали, куповані вироби та заробітну плату основних працівників решту статей собівартості розраховуватимемо на МБК загалом.

Витрати, пов'язані з роботою устаткування та інструменту, включаючи витрати на допоміжні матеріали, поповнення спрацьованого разільного та вимірювального інструменту, силову електроенергію, обслуговування та ремонт обладнання, обчислимо, застосовуючи нормативи експлуатаційних витрат на 1 год роботи устаткування [23]:

$$S_{уст} = S_{зод} \frac{T_d}{k_{мо}}, \quad (17)$$

де $S_{зод}$ — норматив експлуатаційних витрат на 1 год роботи устаткування [23]; $k_{мо}$ — коефіцієнт врахування багатостаткової організації праці (для серійного виробництва — 0,9 [22]).

Цехові та загальнозаводські витрати розраховуватимемо в процентах від заробітної плати виробничих працівників. Витрати на обслуговування МБК, як правило, на ранніх стадіях проектування визначають як частку від собівартості виробу. В залежності від складності виробу частка витрат на обслуговування становить 85 — 20 % від загальної вартості виробу [23].

Таким чином, розраховавши складові за формулами (10) — (17) та прийнявши, в залежності від типу виробництва та складності МБК, частку витрат на обслуговування в процесі споживання, отримаємо прогнозне значення ціни споживання альтернативних варіантів МБК, що дасть можливість побудувати „поле вибору” (див. рис. 2), оцінити якість альтернативних варіантів за інтегральним критерієм — функцією сумарної корисності (5) та компенсацією за цю якість, а отже, вибрати найкращий варіант МБК.

Висновки

Наведений алгоритм дозволяє об'єднати структурний і параметричний синтез, оцінити альтернативні варіанти машинобудівних конструкцій за спільними критеріями якості та економічними показниками. Враховуючи те, що запропонований алгоритм не обмежує кількості чинників, які характеризують МБК, та їхнього виду, то, поряд з традиційними, наприклад швидкодією, масою, точністю позиціонування, коефіцієнтом корисної дії, надійністю тощо, можна врахувати й інші, зокрема, неметричні критерії якості.

The new concept, method and algorithm of hierarchical multicriteria structural - parametric optimization synthesis of machine-building constructions are offered in a paper. In their basis are put generation and analysis of alternate structures, their optimum parametric synthesis and complex estimation of quality on a final stage of projection. As measure accepted an integrated figure of merit — function of aggregate usefulness and economical performance — a board for usefulness.

Література

1. Алгоритмы оптимизации проектных решений / Под ред. А.И.Половинкина. — М.: Энергия, 1976. — 264 с.
2. Бейко И.В., Бублик Б.Н., Зинько П.Н. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации. — К.: Вища школа, 1983. — 511 с.
3. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. — М.: Радио и связь, 1984. — 288 с.
4. Волкович В.Л. Многокритериальные задачи и методы их решения. — В кн. Кибернетика и вычислительная техника. — Киев: Наукова думка, 1969. — Вып. 1. — С. 44—52.
5. Геминтерн В.И., Каган Б.М. Методы оптимального проектирования. — М.: Энергия, 1980. — 160 с.
6. Герасимов Е.Н., Почтман Ю.М., Скалозуб В.В. Многокритериальная оптимизация конструкций. — Киев; Донецк: Вища шк. — 1985. — 134 с.
7. Дехтяренко В.А., Святыцкий Д.А. Методы многокритериальной оптимизации сложных систем при проектировании. — Киев: Изд-во АН УССР, 1976. — 41 с.
8. Доманський П. Оптимізація форми стрижнів у задачах дослідження їхньої стійкості за двома мірами з обмеженнями на мінімально допустимі значення площі поперечних перерізів // Машинознавство. — 2002. — №3 (57). — С. 14—22.
9. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. — М.: Наука, 1981. — 110 с.

10. Jovanovic V., Kazerounian K. Optimal Design Using Chaotic Descent Method // Journal of Mechanical Design. — September 2000. — Vol. 122. — Issue 3. — pp. 271—277.
11. Liu J-S., Parks G.T., Clarkson P.J. Optimization of Turbine Disk Profiles by Metamorphic Development // Journal of Mechanical Design. — June 2002. — Vol. 124. — Issue 2. — pp. 301—312.
12. Nelson II S.A., Parkinson M.B., Papalambros P.Y. Multicriteria Optimization in Product Platform Design // Journal of Mechanical Design. — June 2001. — Vol. 123. — Issue 2. — pp. 205—215.
13. Pownuk A. Optimization of mechanical structures using interval analysis // CAMES. — 2000. — 7. — 699—705.
14. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. — М.: Наука, 1969. — 205 с.
15. Котов В.Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984. — 160 с.
16. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. — М.: Наука, 1982. — 200 с.
17. Кіндрацький Б.І. Про параметричний синтез пневмопривідного модуля за критерієм сумарної корисності // Вісник ДУ “ЛП” “Динаміка, міцність та проектування машин і приладів”. — 1999. — № 376. — С. 17—20.
18. Fishburn P.C. Methods of Estimating Additive Utilities // Manag. Sci. — V. 13. — No7. — Mach. — 1967. — P. 435—453.
19. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. — М.: Статистика, 1980. — 263 с.
20. Гусев Л.А., Смирнова И.М. Размытые множества. Теория и приложения (обзор) // Автоматика и телемеханика. — 1973. — №5. — С. 66—85.
21. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. — СПб.: Питер, 2001. — 480 с.
22. Кац Г.Б., Ковалев А.П. Техничко-економический анализ и оптимизация конструкций машин. — М.: Машиностроение, 1981. — 214 с.
23. Барташев Л.В. Техничко-економические расчеты при проектировании и производстве машин. — М.: Машиностроение, 1973. — 384 с.

Одержано 10.01.2003 р.