

рівні проектування вводяться процедури Pr_i^2 аналізу та оцінювання проектних рішень. Процедури Pr_j^1 виконуються над об'єктом моделювання Q на основі множини правил M_j , а Pr_i^2 – на основі початкових даних D та набору обмежень W .

Висновки. Аналіз наявного програмного забезпечення для потреб інтеграції конструкторського і технологічного підготовки виробництва вказує на динамічний розвиток такого типу програмного забезпечення та присутності його на ринку як самостійного програмного забезпечення, так і як модулів до універсальних CAD систем. Водно слід зазначити значне втручання людини у введення інформації про специфіку взаємодії елементів виробу або деталі між собою. Уникнути значної частини цієї роботи дає змогу використати модель опису складальних виробів у вигляді БВОР та реалізувати частку її можливостей у програмному забезпеченні DFA Expert, що значно сприяє інтеграції процесів технічного підготовки виробництва.

1. Boothroyd G. *Product Design for Manufacture and Assembly* / Geofry Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston A. Knight. CRC Press, 2011. – 705 p. 2. <http://www.dfma.com> 3. <http://dfmpro.geometricglobal.com/> 4. <http://www.pascam.de/> 5. Пасечник В.А., Лашина Ю.В. Сборочно-ориентированное конструирование // Оборудование и инструмент для профессионалов. Металлообработка. – №5, 2010. – С.18–22. 6. Пасічник В.А., Лашина Ю.В., Юхимчук В.М. Развитие методологии складально-ориентированного проектирования та досвід її застосування // Машиностроение и техносфера XXI века: Сб. тр. XIX межд. науч.-техн. конф. в г. Севастополе, 17–22 сент.2012 г. В 3-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2012. Т.2. – С.252–258.

УДК621.83

І.І. Брошак, І.В. Луців

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОБМЕЖУВАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ МАШИН

© Брошак І.І., Луців І.В., 2012

За теорією оптимального проектування представлено алгоритм проектування конструкцій обмежувальних механізмів машин. Запропоновано використання баз даних накопиченої інформації про прототипи й накопиченого досвіду у вигляді “опорних” рішень і початкових наближень для процесу оптимального проектування. Деяка кількість параметрів проектування є шуканим невідомим, при цьому оптимізація конструкції пов’язана з обчисленням порівняно невеликого числа варіантів.

On the basis of the theory of optimal design the algorithm design of restrictive mechanisms structures is given. Proposed use of databases accumulated information about the prototypes and gained experience as a “reference” decisions and the initial approximations for optimal design process. A number of design parameters is the desired unknown, and the optimization of structures associated with calculating the relatively small number of options.

Постановка проблеми. Проектування машин і механізмів сьогодні потребує універсального підходу. Це пояснюється переведенням самого процесу проектування на рівень штучного інтелекту, що дасть змогу значно покращити продуктивність і якість самого процесу проектування і ширше використовувати наявні напрацювання, які стосуються машин і механізмів.

Аналіз останніх досліджень. Результати досліджень механізмів, що задають певні обмеження при функціонуванні машин, викладено у працях С.Н. Кожевнікова, В.С. Полякова, В.О. Малащенко, С.Г. Нагорняка та ін. [1–4]. Загальні системні підходи до синтезу механізмів, зокрема на модульному принципі, запропоновані в роботах Б.І. Кіндрацького, О.В. Михайлова, Ю.М. Кузнецова [5–7]. Попри проведені дослідження, у цій галузі залишаються питання, які вимагають додаткового розгляду. Зокрема відкритим є питання систематизації та створення узагальненої системи проектування механізмів різного виду обмеження експлуатаційних параметрів машин.

Постановка завдання. Постановка задачі оптимізації конструкцій обмежувальних механізмів передбачає формулювання основних визначальних рівнянь (вибір моделі), оптимізаційного функціонала, обмежень на функції стану й шукані керуючі змінні.

Виклад основного матеріалу. Для розроблення алгоритму системного, зокрема автоматизованого, конструювання обмежувальних механізмів необхідно узагальнити бази даних стосовно функцій, конструкцій і проектування механізмів та створити їх алгоритмізований опис [8, 9]. Істотним елементом постановки задачі при проектуванні є вибір механічної моделі. Спочатку вибираються змінні стани обмежувального механізму у вигляді кортежу параметрів:

$$X_i = \langle W1_{ijk}; W2_{ijk}; W3_{ijk}; W4_{ijk}; W5_{ijk}; W6_{ijk} \rangle. \quad (1)$$

У цьому співвідношенні X_i – вектор-функція, що визначає стан конструкції. Операнди W_{ijk} залежать від вектор-функції зовнішніх умов та впливів Q_{ijk} . Тут передбачається, що граничні умови, що визначають функції та властивості будь-якого обмежувального механізму, повинні являти собою замкнуту систему і визначати змінні стани, що характеризують функціональні можливості, критично-навантажений, напружений і деформований стани конструкцій обмежувальних механізмів.

Вектор-функція вхідних даних Y_i визначає суб'єктивні вимоги, що формулюються проектантом на початку проектної процедури. Повнота та конкретика у формальному представленні інформації визначає розмірність задачі проектування та оптимізації, забезпечить адекватність та реалістичність прийнятих рішень. Для проектування обмежувальних механізмів декларативна вхідна інформація повинна відповідати певним класифікаційним вимогам;

$$Y_i = \langle Q1_{ijk}; Q2_{ijk}; Q3_{ijk}; Q4_{ijk}; Q5_{ijk}; Q6_{ijk} \rangle, \quad (2)$$

де $Q1_{ijk}$ – функціональні вимоги до обмежувального механізму (обов'язкове декларативне формулювання); $Q2_{imnl}$ – вимоги до конструктивного виконання приєднувальної частини обмежувального механізму (обов'язкове декларативне формулювання); $Q3_{ijk}$ – заданий діапазон масо-габаритних характеристик (варіативне формулювання); $Q4_{ijk}$ – задане значення надійності (варіативне формулювання); $Q5_{ijk}$ – вимоги щодо функціонально-параметричного показника (обов'язкове декларативне формулювання); $Q6_{ijk}$ – гранична вартість конструкції (варіативне формулювання).

Процес конструювання можна поділити на три істотно різні фази: формулювання задачі проектування обмежувального механізму, функціонального проектування; предметної фази реалізації ОМ та оформлення конструкторсько-технологічної документації.

У фазі формулювання завдання початкова, зазвичай неточна постановка завдання має бути проаналізована згідно з вимогами, описаними в роботі [8] та доповнена відсутніми в ній елементами; технічний зміст завдання повинен отримати точне, вичерпне формулювання. В результаті виникає постановка завдання, що містить (іноді неявно) положення трьох типів: неформалізовані декларативні вимоги, що містять різні вказівки і інструкції, а також опис дій, які потрібно здійснити для складання необхідної конструкторської і технологічної документації; формалізовані положення, що містять опис дій, процесів, а також механічних і інших явищ,

необхідних для реалізації обмежувальної функції роботи проектного механізму $Q1_{ijk}$, вимоги до конструктивного виконання його приєднувальної частини $Q2_{imn}$, а також вимоги щодо функціонально-параметричного показника $Q5_{ijk}$; формалізований опис найважливіших обмежень, яким повинен задовольняти виріб (діапазон масо-габаритних характеристик $Q3_{ijk}$; задане значення надійності $Q4_{ijk}$; гранична вартість конструкції ОМ – $Q6_{ijk}$ тощо).

За фазою формулювання завдання виконується фаза функціональної реалізації проектної ідеї, або функціональна фаза. На цьому етапі відбувається пошук принципових схем реалізації конструктивної схеми обмежувального механізму на відповідність умовам та обмеженням, формально сформульованими на попередній фазі. При цьому виконується лише пошук часткових функцій ОМ, їх поєднання в загальну функцію і перехід до ефектів. Кожна з окремих ідеальних функцій має бути реалізована якнайкраще. Дії конструктора в цій фазі значною мірою відповідають описаній вище процедурі вибору ефектів шляхом конкретизації часткових функцій.

Функціональна фаза поділяється на два етапи. На першому етапі роблять спробу описати ідеальну функцію через абстрактні функції, тобто через функції, пов'язані тільки з накопиченням, передачею, перетворенням і комбінуванням енергії. А на другому етапі елементи розробленої схеми (так званої абстрактної функціональної структури) зіставляються з певними фізичними ефектами. На першому етапі конструювання усі процеси можуть описуватися тільки в термінах абстрактних величин: переміщення, сила, швидкість, прискорення тощо.

Процедуру переходу до фізичної функціональної структури описано на прикладі проектування механічних обмежувальних систем: запобіжних муфт та пристроїв механізму обмеження лінійного руху. Так, наприклад, обмеження обертового моменту приводу лебідки при її переважанні належить до етапу фізичної функціональної структури у функціональній фазі.

Після кожного етапу у функціональній фазі слід порівняти реальну і ідеальну функції. Якщо отримана реальна функція недостатньо близька до ідеальної, відбувається повернення до попереднього етапу алгоритму оптимального проектування ОМ. При цьому список вимог постійно поповнюється завдяки отриманим на поточному етапі даним, і той самий етап проходять ітераційно. Глобальна логічна функціональна структура охоплює усі схеми, що будуються з часткових логічних елементів; схеми, які, окрім усього іншого, слугують для управління, регулювання в обмежувальних механізмах, у цьому ж випадку використовуються для опрацювання повідомлень.

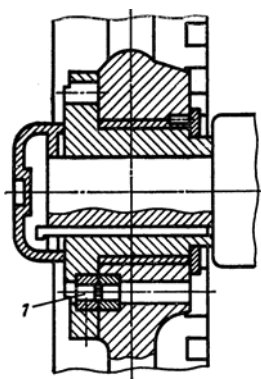


Рис. 2. Муфта зі зрізним штифтом

Перехід від функціональної до предметної фази при алгоритмічній процедурі є найскладнішим через проблеми, пов'язані з адекватною формалізацією багатоваріантних евристичних процедур. Діяльність конструктора у функціональній фазі можна назвати “функціональним проектуванням”. Фазу предметної реалізації, або предметну фазу, ділять на етапи геометричної та технологічної реалізації виробу. На цьому рівні діє принцип евристичної інваріантності у реалізації функціональних змінних, сформульованих на попередньому етапі, що при систематичному варіюванні вимагає незрівнянно більше обмежувальних умов, ніж у функціональній фазі.

Найефективнішим формальним алгоритмом є формалізоване конструктивно-компонувальне рішення обмежувального механізму за умови, що у такому рішенні поєднання класифікаційних ознак n -го типу і l -го виконання для всіх вхідних $W2_{i1nl}$, виконавчих $W2_{i2nl}$ та вихідних $W2_{i3nl}$ модулів обмежувальних механізмів є допустимим

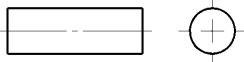
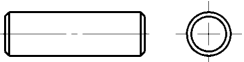
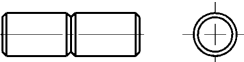

$$W2_{imnl} \subseteq \Omega \Leftrightarrow \alpha_{mnl} \times \beta_{mnl} \times \gamma_{mnl} \neq 0 \parallel \forall m = \overline{1, M}; \forall n = \overline{1, N}; \forall l = \overline{1, L}, \quad (3)$$

де $\alpha_{nl}=1$ – якщо у конструктивно-компонувальному рішенні поєднання класифікаційних ознак n -го типу і l -го виконання для всіх вхідних $W2_{i1nl}$ та вихідних $W2_{i3nl}$ модулів обмежувальних механізмів є допустимим; $\beta_{nl} = 1$ - якщо конструктивно-компонувальний варіант виконавчих механізмів $W2_{i2nl} \subseteq \Omega$ може бути достовірно-альтернативним ($P(W2_{imnl} | m = 2; \forall n = \overline{1, N}; \forall l = \overline{1, L}) = 1$); $\gamma_{mnl} = 1$ – за умови технічної можливості поєднання будь-якого вхідного $W2_{i1nl}$, виконавчого $W2_{i2nl}$ та вихідного $W2_{i3nl}$ модуля обмежувального механізму ($P(W2_{imnl} | \forall m = \overline{1, 3}; \forall n = \overline{1, N}; \forall l = \overline{1, L}) = 1$).

На першому етапі – геометрично матеріальної реалізації – слід спочатку розробити лінійно-структурну схему, потім поступово перетворити її на контурне представлення (креслення, ескіз) і, нарешті, керуючись геометричними міркуваннями, принципами вибору розмірів, а також уніфікованими конструктивними рішеннями окремих функцій – реалізувати геометричну модель обмежувального механізму.

В таблиці наведено приклад проектування муфти зі зрізним штифтом (поз.1 рис. 2) та самого зрізного штифта обмежувального механізму приводу лебідки. Предметну фазу підрозділено на дев'ять етапів. Необхідні принципи і переходи в процесі розробки штифта стають зрозумілими з ескізів в середній частині рисунка і тексту в його правій частині. Важливе значення на першому етапі предметної реалізації виробу мають принципи промислового дизайну, насамперед – пов'язані із зовнішнім виглядом виробу і людино-машинними стосунками.

Етапи предметної фази конструювання. Предметна реалізація зрізного штифта обмежувального механізму приводу лебідки

Фаза і етапи конструювання		Приклад		Перехід, операція предметної фази
Функціональна фаза	Ефект	0	Обмежувальний механізм	Перехід до носіїв ефектів
Структурно-геометричний етап предметної фази конструювання ОМ	Носії ефектів	1	Півмуфта та зрізний штифт	Розроблення кінематичної моделі шляхом переходу від структурно-функційних елементів до структурної схеми
	Початкова геометрична структура	2	Відповідність розмірів півмуфти і штифта	Покращення геометричної лінійної структури ОМ
	Покращена геометрична структура	3	Оптимізація розмірів півмуфти і штифта	
	Структура деталей	4	Оптимізація структури деталей	
Контурно-геометричний етап предметної фази конструювання ОМ	Контур та функціональні поверхні деталі	5		Перехід до можливого вихідного контуру деталі
		6		Зміна моделі з метою покращення складальних процесів
		7		Зміна моделі з метою покращення функціональних параметрів
	Деталь з елементом спряження	8		Зміна моделі з метою покращення функціональних процесів
Робоче креслення		9	Креслення деталі	Кінцева реалізація деталі

На другому етапі (технологічна реалізація проекту) виконується детальне конструювання, дається остаточний вичерпний опис усіх деталей виробу. Не пізніше ніж на цьому етапі, а ще краще – на етапі геометрично-матеріальної реалізації – повинні визначатися техніко-економічні показники. Тут знову виконується ітераційне порівняння реальної функції обмежувального механізму з ідеальною. Перевірка рентабельності технічних рішень і пропозицій – головне завдання аналізу вартості. У цій фазі важливу роль грають операції варіювання структури і конструкції.

У результаті виконання робочого плану, описаного тут для випадку оригінального конструювання (нової розробки), отримуємо повний комплект робочих креслень обмежувального механізму.

Висновки. 1. Розроблено підхід і метод проектування обмежувальних механізмів машин на базі їх формалізованого опису та теорії оптимального модульного проектування

2. Детально проаналізовано основні фази проектування із зазначенням основних завдань для обґрунтування основних складових проектних процедур на прикладі проектування запобіжної муфти зі зрізним штифтом.

1. Кожевников С.Н. Механизмы: справочник / С.Н. Кожевников, Я.И. Есипенко, Я.М. Раскин; под ред. С.Н. Кожевникова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. 2. Поляков В.С. Справочник по муфтам / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш, О.А. Ряховский. – М.: Машиностроение, 1966. – 798 с. 3. Малащенко В.О. Муфты приводів. Конструкції та приклади розрахунків: навч. посібник. 2-ге вид., перероб. і доп. / В.О. Малащенко – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2009. – 208 с. 4. Нагорняк С.Г. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: справочник / С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив. – К.: Техника, 1992. – 72 с. 5. Кіндрацький Б.І. Основи раціонального проектування машинобудівних конструкцій: навч. посібник / Б.І. Кіндрацький. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2005. – 200 с. 6. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. 7. Кузнецов Ю.М. Теорія технічних систем / Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Дубиняк С.А. Під заг. ред. Ю.М. Кузнецова – К., Тернопіль, 1997. – 310 с. 8. Броцак І.І. Формалізація логічних процедур проектування обмежувальних механізмів / І.І. Броцак, І.В. Луців. – Десятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Праці. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД. – 2011. – С. 183–184. 9. Броцак І. Механічні обмежувальні системи та їх класифікація // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І. Пулюя. – 2011. – Т.17. – №2. – С. 94–99.