

Лекція 8. Параметрична оптимізація конструкцій машин

Одними з найважливіших задач дослідження технічних систем (ТС) є задачі аналізу і синтезу. Аналіз — це метод вивчення системи, який базується на поділі її на частини, що вивчаються окремо шляхом абстрагування від впливу інших частин. При цьому задачі дослідження системи суттєво спрощуються. В процесі аналізу за відомою структурою і параметрами ТС вивчається її поведінка, тобто досліджуються властивості системи і її характеристики.

Синтез — це метод вивчення системи, який ґрунтується на розгляді її частин у взаємодії між собою, їх взаємному впливі і зв'язках. Синтез дає повне уявлення про об'єкт дослідження як цілісну систему. При цьому задачі синтезу системи в порівнянні з задачами аналізу значно ускладнюються. Процес синтезу ТС полягає в знаходженні її структури і визначенні параметрів за заданими властивостями.

Задачі аналізу і синтезу ТС взаємозворотні і, як правило, розв'язуються спільно. Так задачі синтезу як більш складні частіше всього розв'язуються з використанням результатів розв'язування задач аналізу.

Суть задачі синтезу технічної системи

Постановка задачі синтезу в певній мірі зворотня постановці задачі аналізу. В процесі синтезу задаються описи вхідних дій і описи поведінки, характеристики і властивості майбутньої системи. Досить часто в описи поведінки системи входять описи виходів. Ці описи або їх частина в аналізі не задавались, а шукались. В задачі синтезу необхідно знайти опис самої системи та її стани, в той час як в задачі аналізу опис системи заданий. Таким чином, розв'язування задачі синтезу являє собою процес перетворення одних описів в інші. Ця задача аналогічна задачі аналізу, тільки вхідні і вихідні описи тут інші і сам процес перетворень описів також інший. Саме ці принципові різниці роблять процес синтезу більш творчим, де головну роль відіграє кваліфікований спеціаліст, якого не може замінити ніяка сукупність обчислювальних засобів. Однак нерозумно завантажувати спеціаліста громіздкою одноманітною інформацією, яка не вимагає творчих здібностей та інтуїції. Тому в процесі синтезу технічних систем бажано організувати взаємодію людини і ЕОМ.

В процесі синтезу технічних систем центральне місце займають проблеми вибору структури системи і базисних елементів. Ці проблеми в багатьох задачах дуже погано формалізуються і алгоритмізуються. Саме тут повинна проявлятися творча сила людського інтелекту, його вміння

користуватись інтуїцією, досвідом розв'язування подібних або суттєво інших задач і т. д.

Одним із шляхів синтезу технічних систем є вибір певної структури і базисних елементів і на основі розв'язування задачі аналізу здійснення зондування параметрів системи і вибір таких з них, які задовольняють бажаним властивостям системи. Якщо аналіз направлений, то його можна будувати таким чином, щоб наблизитись до бажаних властивостей системи. Так або інакше нам вдається встановити залежність між характеристиками властивостей системи і параметрами її базисних елементів.

На перший погляд здається, що такий підхід досить простий. Однак в дійсності нам не зовсім ясно, яку саме систему необхідно аналізувати. Система тільки створюється і її опис нам необхідно знайти, тоді як для задачі аналізу він повинен бути відомим. Так ми стикаємось з основним протиріччям задачі синтезу, яке принципово усунути неможливо. Створення системи вимагає інформації про її поведінку, характеристики і властивості, а саму систему ще треба відшукати. Раніше, ніж опис системи буде знайдено, цю інформацію неможливо отримати, а не знаючи її, неможливо створити систему.

Основне протиріччя процесу синтезу пов'язане і з іншими, також достатньо суттєвими причинами. Їх можна охарактеризувати таким чином: створити систему вдається лише тоді, коли ми знаємо, яку систему ми хочемо створити. Однак це знання приходить лише в процесі знаходження необхідної нам системи і, по суті, багато питань залишаються неясними і після того, як опис системи знайдено, а сама вона реалізована. Бувають випадки, коли постановка задачі синтезу проявляється лише після досить довгої експлуатації системи, тобто коли сама проблема синтезу, можливо, вже не викликає інтересу. Для підтвердження цієї думки розглянемо приклад.

Приклад. Нехай створюється деяка механічна система, для якої основним робочим режимом є коливальний процес. Діапазон частот цього процесу відомий ще до початку проектування, інші початкові дані також не викликають сумніву. Після того, як задача синтезу була розв'язана і було знайдено опис механічної системи, здійснили її дослідження. В результаті було встановлено, що поряд з коливаннями в заданому частотному діапазоні система здійснює "паразитні" коливання, спектр яких знаходиться поза цим діапазоном, і які недопустимі з точки зору нормальної експлуатації системи (можуть зруйнувати систему, впливають на її взаємодію з іншими системами і т. д.).

В результаті розгляду цього прикладу виникає питання, розв'язали ми задачу синтезу чи не розв'язали. Якщо під розв'язком проблеми синтезу

розуміти знаходження будь-якої системи, що задовольняє початковим вимогам, то ми, звичайно, розв'язали задачу. Але якщо мета проектування являє собою знаходження опису механічної системи, що задовольняє її ефективному функціонуванню, то проблема залишилась невирішеною. Протиріччя полягає в тому, що виконати формально описані умови ще не означає задовольнити "істинні" умови синтезу.

З розглянутого прикладу видно, що вимогу відсутності паразитних коливань необхідно було включити в постановку задачі синтезу. Однак важливість цієї умови стала очевидною лише після проведення аналізу створеної механічної системи. До цього інженер, який формулював задачу, не підозрював про можливість виникнення небажаних процесів. Необхідно зауважити, що при невдалому проведенні аналізу він міг не зафіксувати небажані ефекти і на наступній стадії розробки системи.

Досвід створення складних технічних систем показує, що на початку процесу синтезу неможливо формалізувати всі умови, щоб вважати систему задовільною або, тим більше, найкращою з можливих. Визначеність в заданні вимог приходить лише з розумінням поведінки, характеристик і властивостей системи — тієї самої системи, опис якої невідомий і який необхідно знайти. Звичайно, ці протиріччя майже не проявляються у випадку нескладних систем, поведінка, характеристики і властивості яких по суті легко передбачувані, хоча б якісно.

Зрозуміло, якщо процес синтезу завершено, то описане вище протиріччя повинно бути рано чи пізно усунутим. Знімається воно одноразовим або багаторазовим звертанням до процесу аналізу і оцінкою його результатів. Таким чином, аналіз виступає основним засобом для зняття протиріччя, що виникає в процесі синтезу технічних систем.

Принципові труднощі процесу синтезу — незнання того, що можливо і що неможливо в створюваній системі, і невміння формалізувати побажання проектувальника — можуть бути зняті, якщо проаналізувати деякий варіант системи. Виходячи з цього, можна запропонувати таку структуру процесу:

1. Запропонувати варіант опису технічної системи, який задовольняє початковим вимогам синтезу.
2. Провести ґрунтовний аналіз запропонованої системи. На цьому етапі запропонувати варіант опису технічної системи, який задовольняє початковим вимогам синтезу.
3. Провести ґрунтовний аналіз запропонованої системи. На цьому етапі бажано використати ЕОМ.
4. Оцінити переваги запропонованої системи на основі отриманої інформації про її поведінку, характеристики і властивості.

Якщо система задовольняє необхідним вимогам або, тим більше, є найкращою із всіх можливих, то процес синтезу необхідно закінчити, а якщо — ні, то повернутись до першого пункту. Така структура синтезу дозволяє людині і ЕОМ робити те, що у кожного з них виходить краще за все. Пропонування ідей, формування гіпотез, оцінка — все, що вимагає неформального, творчого підходу, залишається за людиною. Все, що краще алгоритмізується, в основному, виконується ЕОМ. Але справа не тільки в цьому. Кожний вдалий крок в описаній вище ітеративній, циклічній процедурі дозволяє що-небудь нове зрозуміти в системі, що створюється: поступово визначаються межі можливого і неможливого, виявляються недооцінені або непомічені небезпечності, формалізуються цілі синтезу і т. д. Таким чином, крок за кроком усуваються перешкоди, знімаються протиріччя.

Описана структура процесу синтезу є лише основою складного, розгалуженого процесу. Наприклад, задання опису системи вимагає задання структури, базису елементів і параметрів. Чи дає виявлення всіх цих компонентів можливість запропонувати варіант опису системи? Здебільшого — ні. У всьому разі, визначення параметрів системи людиною виконує гірше, ніж на ЕОМ. Розрахунок параметрів часто вдається представити у вигляді стрункого алгоритму, який допускає ефективне використання ЕОМ. Тоді за людиною залишається творча робота, а отримані під час цієї роботи результати опису системи доповнюються чисельною інформацією від ЕОМ.

Звернемось до прикладу 4.2, який описано вище. Задання опису колони доцільно звести до вибору самої структури (рис. 4.1) і визначення базису елементів, тобто набору форм поперечних перерізів кожного з елементів. Що стосується визначення чисел s_j , то цей розрахунок швидше і точніше виконає ЕОМ. До того ж, подібні розрахунки можна підпорядкувати різним вимогам, наприклад постаратись підібрати s_j таким чином, щоб колона мала (при заданих структурі і базисі) мінімальну вагу. Іншим важливим моментом в розглянутій процедурі синтезу є оцінка доцільності знайденого технічного рішення на третьому етапі. Якщо задача синтезу колони поставлена таким чином, щоб її вага не була більшою за певну величину, то в результаті оцінки ваги отриманої конструкції приймається певне рішення. Якщо поставлена умова виконується, то процес синтезу закінчується, а якщо ні, то продовжується до отримання бажаного результату. У випадку, коли дані, отримані на другому етапі, не можна покращити, то необхідно поступитись деяким старим побажанням, наприклад, погодитись на збільшення ваги колони. Так або інакше, оцінку придатності знайденого варіанту системи

необхідно зробити гнучкою, щоб вона добре адаптувалась до отриманих в процесі синтезу нових даних.

Розглянемо варіант, коли необхідно повертатись до першого етапу з заміною нового варіанту структури системи ті її базису. Тут необхідно враховувати, що всі накопичені в процесі синтезу знання — виконання процедури аналізу (етап 2), оцінка отриманого рішення (етап 3), — все це впливає на формування ідеї про нову структуру або про новий базис елементів. Продивившись декілька варіантів, наприклад, поперечних перерізів елементів колони (рис. 4.1), вияснивши, які з поставлених умов були виконані, а які ні, зрозумівши, якою він хоче бачити систему, конструктор пропонує такі нові описи системи, що після розрахунку їх параметрів можна прийти до висновку або її прийнятності (кращого варіанту йому не знайти), або неможливості розв'язати задачу синтезу системи.

Про зміну постановки задачі синтезу

Як було показано раніше, синтез нерозривно пов'язаний із розумінням того, як веде або повинна вести себе система, які її властивості, характеристики, параметри і т. д. Приріст відповідної інформації не може не змінити постановки задачі синтезу. Якщо розглянути приклад 4.5 з паразитними коливаннями механічної системи, то можна говорити про дефект початкової постановки: вона не врахувала важливої вимоги, яка б забороняла системі проявляти коливальні властивості поза робочим діапазоном часот. Після того, як цей недолік системи був проаналізований конструктором, він, природньо, ввів таку заборону, і постановка задачі змінилась.

Однак постановка задачі може змінюватись більш суттєво.

Покажемо це на прикладі (приклад) циклічної зміни будь-якої характеристики характеристики технічної системи, яка являє собою функцію єдиного аргументу t (рис. 1). В ідеалі характеристика $v(t)$ повинна являти собою прямокутник з висотою V_0 , побудований на основі t_0, t_1 (функція 1). Можливо така характеристика взагалі не може бути реалізована, або вона фізично допустима, але її реалізація вимагає значних витрат коштів. Тому на початку синтезу конструктор системи вказує, що він згоден на відхилення від функції 1, але вимагає, щоб це відхилення — певним чином виміряне — не перевищувало вказаного ним граничного значення. Виберемо за міру відхилення кривої 2 від функції, зображеної прямокутником 1, заштриховану площу і позначимо її δ_{21} .

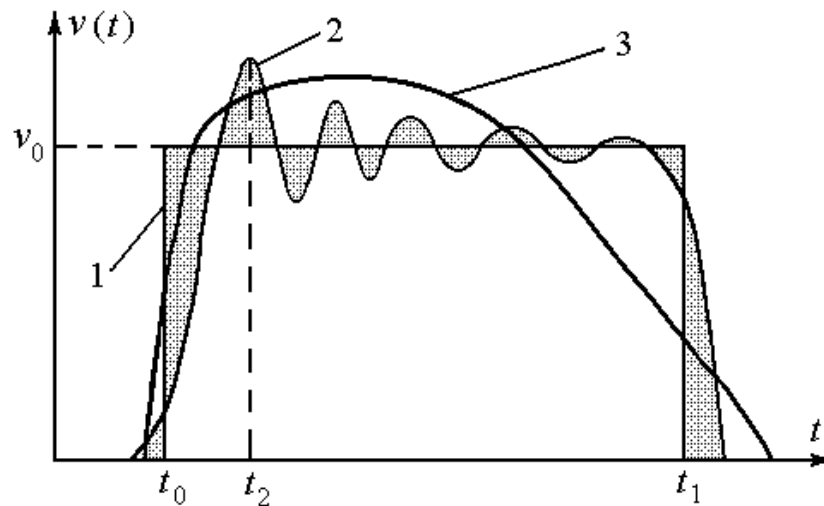


Рис. 1. Можливі варіанти характеристики системи, що синтезується: 1 - ідеальна; 2 - з піковим виступом; 3 - з плавною зміною параметра v

Тепер можна сформулювати вимоги до системи, яку треба синтезувати. Варіант системи задовольняє встановленим вимогам тоді і тільки тоді, коли

$$\delta_{21} \leq \delta_0, \quad (1)$$

де δ_0 - граничне значення відхилення.

Необхідно побудувати алгоритм синтезу таким чином, щоб він досягав зменшення заштрихованої площі до тих пір, поки нерівність (4.8) не стане виконаною. Як тільки це станеться і інші вимоги до системи також будуть виконані, процедуру синтезу можна вважати завершеною. Тоді будь-яка система, що задовольняє вказаним вимогам, у відповідності з початковою постановкою задачі вважається задовільною. В багатьох випадках знання величини δ_{21} і виконання умови (1) для конструктора, який приймає рішення про закінчення процесу синтезу, є недостатнім. Він бажає ще побачити характеристику $v(t)$ у вигляді графіка 2 на рис. 4.3. Розглядаючи криву 2, розробник системи може, наприклад прийти до висновку про недопустимість інтенсивності появи виступу, який має місце при $t = t_2$. В цьому випадку він може відхилити отриманий опис системи, хоча б нерівність (1) і була при цьому виконана.

Для отримання кращого рішення системи розробник починає процедуру синтезу спочатку, але при цьому вводить допоміжну інформацію в початкову постановку задачі. Нехай при новому процесі синтезу отримано характеристику 3 (рис. 1), а величина δ_{31} перевищила раніше назначену межу δ_0 , тобто нерівність (1) не виконується. Проаналізувавши ситуацію, розробник системи може прийти до висновку, що отримане рішення системи

є прийнятним. Відсутність небезпечних виступів може виявитись настільки важливою перевагою нової характеристики, що розробник згоден і на порушення висунутої спочатку умови (1), і на сильне відхилення кривої 3 від прямокутника при $t = t_1$. Однак можлива і така стратегія пошуку, при якій розробник системи намагається зменшити δ_{21} і разом з ним ліквідує небезпечні виступи характеристики 2.

На основі розглянутого прикладу приходимо до таких важливих висновків: 1) початково сформульована (до розв'язування задачі) постановка проблеми синтезу може не включати важливих вимог, які стають пізніше досить очевидними; 2) зміни постановки задачі майже неминучі в ході синтезу складних технічних систем; 3) в багатьох випадках оцінку переваг системи, знайденого проектного рішення неможливо або недоцільно формалізувати, тобто зводити до перевірки чисто кількісних вимог.

Найбільш показовим моментом виявляється тут невідтворюваність оцінки результатів. Інший розробник системи при подібному підході може віддати перевагу іншій характеристиці $\nu(t)$. Більше того, той же розробник, який відхилив криву 2 (рис. 1) в іншій ситуації (володіючи іншою інформацією, перебуваючи в іншому оточенні або в іншому емоційному стані) міг оцінити характеристику 2 як задовільну.