

УДК 621.225

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Дмитрієнко О.В., к.т.н.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Тел. (057) 707-61-28

Анотація – в роботі дано обґрунтування вибору метода для багатокритеріальної оптимізації параметрів гідравлічних пристроїв та комп'ютерного математичного пакету для його реалізації.

Ключові слова – гідравлічний пристрій, комп'ютерні математичні пакети, оптимізація, критерії.

Постановка проблеми. Широке використання в сучасному технологічному обладнанні об'ємних гідроагрегатів обумовлено тим, що вони позитивно впливають на експлуатаційні характеристики останніх. Використання методів математичного моделювання та оптимізації дозволяє скоротити час проектування гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв, отримати характеристики близькі до оптимальних, підвищити показники технічного рівня. Підвищення якості проектування об'ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв лежить в площині розробки їх більш повних математичних моделей, застосуванні системного підходу та використанні сучасних засобів і методів оптимізації параметрів. Слід зазначити, що в процесі функціонування об'ємних гідроагрегатів в них відбуваються складні гідромеханічні процеси, обумовлені спрацюванням виконавчих механізмів, зміною навантаження, взаємодією робочої рідини з рухомими елементами виконавчих механізмів та запірно-регулюючими елементами гідроапаратів і її течією в каналах з місцевими опорами та щілинах, а також наявністю витоків та перетікань. Крім того, в виконавчих механізмах та гідравлічних пристроях, внаслідок їх спрацювання та стисливості робочої рідини, мають місце коливання тиску, витрати та окремих елементів, які необхідно враховувати при їх проектуванні.

Зазвичай, гідравлічні пристрої збудовані з однотипних структурних елементів: корпусів, запірно-регулюючих елементів,

каналів, порожнин, опорів, пружин. Передача енергії в них здійснюється двофазною стисливою рідиною, а гідромеханічні процеси мають нестационарний характер. Їх декомпозиція на окремі структурні елементи відкриває можливість проводити їх аналіз і синтез, базуючись на єдиних методологічних наукових концепціях. Відмітимо, що математичний опис робочих процесів об'ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв ґрунтується на фундаментальних рівняннях механіки твердого тіла, гідромеханіки і теорії автоматичного керування.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні об'ємні гідроагрегати та гідравлічні пристрої є достатньо складними, при проектуванні яких необхідно виконати низку суперечливих вимог, тобто розв'язати багатокритеріальну задачу

$$\Phi(X) = [\Phi_1(X), \dots, \Phi_h(X)] \rightarrow \max, X \in D$$

$$D: h_j(X) \geq 0, (j = 1, \dots, m), \quad (1)$$

де X – шукане рішення (вектор шуканих параметрів гідроагрегатів чи гідравлічних пристроїв); $\Phi_i(X)$ ($i = 1, \dots, k$) – критерії якості розв'язків (рішень) X ; $h_j(X)$ ($j = 1, \dots, m$) – обмеження, які установлюють допустиму область D можливих змін рішень X .

Розв'язання $X_{i \max} = \operatorname{arg} \max \Phi(X), X \in G$ є локальним оптимумом за i -м критерієм, без урахування інших. Розв'язання $X^0 \in G$ є ефективним (Парето-оптимальним [1]), якщо не існує розв'язання $X \in G$, для якого $\Phi_i(X) \geq \Phi_i(X^0)$, $i = 1, \dots, m$ та жоден критерій не кращий ніж при $X = X^0$. Сукупність всіх можливих ефективних розв'язань утворює множину Парето (область компромісів) P , яка є формальним розв'язком (1) [2], та визначається тільки вихідними даними гідроагрегата чи гідравлічного пристрою.

Розгляд методів багатокритеріальної оптимізації зроблено у роботах [1–6,8] та інших. Так, у статті [3] розглянуті задачі лінійного програмування з багатьма критеріями якості. В ній обговорюються способи зменшення кількості діалогів “дослідник-особа, яка приймає рішення”. Однак, у статті [3] не враховується, що особа, яка приймає рішення, може, в міру знайомства з областю допустимих розв'язань, дати нову інформацію, як про вагу критеріїв, якщо вони не були відомі раніше, так і про їх уточнені значення.

У статті [2] розглянуто метод оптимізації, в основі якого лежить діалог особи, яка приймає рішення, та ЕОМ. При адаптивному підході розв'язання задачі оптимізації базується на послідовному уточненні кращого розв'язку X^{01} (на думку особи, яка приймає рішення) шляхом переходу від однієї альтернативи $X_L^0 \in D$ до наступної

$X_{L+1}^0 \in D$, з урахуванням інформації I_L від особи, яка приймає рішення. В цьому процесі відбуваються паралельно два види адаптації, ЕОМ до розв'язків, яким особа, яка приймає рішення, віддає перевагу, та особи, яка приймає рішення до задачі, що розв'язується. Одним із недоліків цього методу, який обмежує область його використання, є можливість виникнення, в процесі діалогу особи, яка приймає рішення, та ЕОМ, складних питань.

Порівняльний аналіз великої кількості методів оптимізації, які містять діалогові процедури особи, яка приймає рішення, та ЕОМ, наведено в статті [4]. Цей аналіз дозволяє в залежності від складності задачі, що розв'язується, провести вибір найбільш ефективного методу оптимізації, використовуючи наступні критерії: зручність використання діалогу між особою, яка приймає рішення, та ЕОМ; легкість опанування логікою методу; довіра особи, яка приймає рішення, до кінцевого розв'язку, як найкращого; швидкість сходження процесу (кількість необхідних ітерацій); час розрахунку; корисність для особи, яка приймає рішення, інформації, яка отримана в процесі розв'язання задачі.

Розглянуті у статті [4] методи оптимізації базуються на використанні чотирьох основних процедур організації діалогу між особою, яка приймає рішення, та ЕОМ, які використовують повідомлення особи, яка приймає рішення, про значення ваги критеріїв. Ці процедури названі в статті [4] параметричними методами. Вони найбільш прості з адаптивних діалогових (між особою, яка приймає рішення та ЕОМ) методів багатокритеріальної оптимізації. Однак, при нелінійних функціях критеріїв у особи, яка приймає рішення, виникають труднощі в визначенні ваги критеріїв, що дещо знижує цінність цих методів.

Процедури, які використовують повідомлення особи, яка приймає рішення, про порівняння важливості критеріїв, застосовуються в адаптивних сіткових методах [5], котрі знайшли широке застосування в розв'язанні задач багатокритеріальної оптимізації гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв, наприклад, у статтях [6, 7], а також процедур, з використанням комбінованих форм подання додаткової інформації.

У статті [8] усі задачі багатокритеріальної оптимізації поділені на три класи. При розв'язанні задач першого класу, на кожному кроці діалогу, особа, яка приймає рішення, повідомляє порівняльні значення критеріїв, указує свої вагові уявлення про важливість критеріїв. При цьому, шукають розв'язання, при якому функціонал, отриманий агрегуванням багатьох критеріїв в один, мінімізується. Адаптивність процедури полягає в швидкому отриманні розв'язку на попередніх кроках діалогу. Як відзначено у роботі [5], процедури

цього класу задач найбільш прості. Однак, при нелінійних функціях критеріїв у особи, яка приймає рішення, виникають труднощі при визначенні та коректуванні ваги критеріїв. Крім цього, одним із суттєвих недоліків розв'язання задач даного класу є припущення, що якість розв'язання можна оцінювати одним критерієм [9].

При розв'язанні задач другого класу, особа, яка приймає рішення, установлює деякі рівні критеріїв. Наприклад, якщо значення цільових критеріїв $\gamma_i (i=1, \dots, K)$, розв'язується задача [4]

$$\sum_{i=1}^K [\gamma_i - \Phi(X)]^2 \rightarrow \min, \quad X \in D. \quad (2)$$

Особа, яка приймає рішення, змінюючи значення мети, здійснює цілеспрямований пошук найкращого розв'язку, одночасно отримуючи інформацію про значення локально-оптимальних розв'язань. Замість (2) можуть бути використані і інші алгоритми [8]. При цьому, всі вони передбачають діалог особи, яка приймає рішення, з ЕОМ, в ході якого особа, яка приймає рішення, може уточнити алгоритм додавши обмеження, здійснити їх коректування або перевести критерії в обмеження з одночасним уточненням їх граничних значень. До цього класу належить і метод послідовних поступок [5].

Третій клас задач становить комбінація задач першого та другого класу.

Сьогодні для дослідження робочих процесів сучасних об'ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв широке застосування знайшли комп'ютерні математичні пакети (КМП) [10]. А саме Derive, Mathcad, Maple, Mathematica, MATLAB. Головною перевагою КМП, наприклад Mathcad, є математична прозорість розрахунків та легкість створення об'єктів, які здійснюють математичні розрахунки, навіть достатньо складні. В Mathcad для моделювання робочих процесів та оптимізації використовуються градієнтні методи. КМП Mathcad містить вбудований блок "Оптимізація". Однак, оптимізація в ньому здійснюється у загальному виді та однією математичною залежністю, тобто для її проведення потрібний значний перебір чисельних даних. Це потребує великої кількості розрахунків чи розробку та використання спеціальних програм.

В VisSim оптимізація реалізується особливою побудовою моделі, в яку включають спеціальні блоки для багаторазового моделювання зі змінними параметрами [11]. Зміна параметрів проводиться ітераційно до отримання мінімуму деякої цільової функції системи. Задачею користувача є підготування моделей таким чином, щоб цільова функція забезпечувала достатньо добре виражений мінімум. Зауважимо, що при використанні КМП VisSim при моделюванні робочих процесів в об'ємних гідроагрегатах та

гідравлічних пристроях які, зазвичай, описуються звичайними диференційними рівняннями, необхідно на попередніх етапах задаватися постійною диференціювання, властивий вибір якої потребує високої кваліфікації дослідника.

VisSim містить декілька блоків “Оптимізація”, які використовують різні методи оптимізації [11]:

Powell - безградієнтний метод Поувелла, в якому обчислення похідних виконуються за спрощеними різницевиими формулами, що забезпечує підвищену швидкість оптимізації;

Polak - Rabiere - градієнтний метод Полака-Райбера, оптимізований під пошук мінімуму функцій, близьких до квадратичних залежностей поблизу точки мінімуму;

Fletcher Reeves - градієнтний метод Флетчера-Рівеса, що має кращу збіжність, чим метод Полака-Райбера, але декілька меншу швидкість пошуку;

User Method - оптимізація методом користувача.

Нерідко вбудованим в VisSim оптимізаторам вдається знайти глобальний мінімум цільової функції. Але, в загальному випадку багатоекстремальних цільових функцій глобального мінімуму оптимізаторам знайти не вдається. Тобто рішення може зійтися до знаходження локального мінімуму. Проте зміною параметрів оптимізації можна знайти наявні мінімуми (якщо їх не надто багато) і потім визначити, який же з них є глобальним.

Проведений аналіз літературних джерел дозволив встановити, що дуже складно здійснити вибір методу для проведення багатокритеріальної оптимізації параметрів об’ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв.

Мета роботи. Вибір методу для проведення багатокритеріальної оптимізації параметрів об’ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв та вибір КМП для його реалізації.

Метод оптимізації параметрів гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв та КМП для його реалізації. На основі проведеного аналізу методів для багатокритеріальної оптимізації параметрів об’ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв нами був обраний метод дослідження простору параметрів. Він відноситься до другого класу адаптивних методів. Характерною особливістю цього методу є систематичне переглядання багатомірних областей, у яких в якості пробних точок використовуються точки рівномірно розподілених послідовностей (LPP_{τ} – послідовностей), і який не вимагає від особи, що приймає рішення ранжування критеріїв, призначення вагових коефіцієнтів. Цей метод дозволяє здійснювати кореляційний аналіз взаємозв’язків між критеріями, а також між критеріями і варійованими

параметрами, забезпечує простий аналіз результатів розрахунків та використання моделей різних типів.

Особливістю використання методу дослідження простору параметрів при багатокритеріальній оптимізації параметрів об'ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв є те, що спочатку треба провести оптимізацію параметрів об'ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв з метою визначення діапазону змін їх параметрів та визначення границь критеріальних обмежень (отримати таблицю досліджень, яка містить частину пробних точок). Для зменшення трудомісткості процесу оптимізації, по можливості, критерії необхідно представляти звичайними рівняннями.

Цей метод був реалізований за допомогою КМП Mathcad. В КМП нами були розроблені програмні модулі оптимізації, які використані при оптимізації параметрів гідроапаратів з гідравлічною осциляцією [12], гасителя пульсацій тиску [13], гідроагрегата верстата для намотування обмоток електродвигунів [14] та можуть бути використані при оптимізації будь-яких гідравлічних пристроїв.

Висновки. На підставі проведеного порівняльного аналізу методів багатокритеріальної оптимізації для оптимізації параметрів об'ємних гідроагрегатів та гідравлічних пристроїв нами обрано метод дослідження простору параметрів.

Найбільш ефективним для реалізації даного методу серед КМП став Mathcad. В ньому нами розроблені програмні модулі оптимізації, використання яких дозволяє скоротити час розробки програм оптимізації гідравлічних пристроїв.

Література

1. Воронин А.Н. Многокритериальная оптимизация динамических систем // Кибирнетика. – 1980. – №4. – С. 56 – 68.
2. Ларичев О.И. Человеко-машинные процедуры принятия решений. Обзор // Автоматика и телемеханика. – 1971. – № 12. – С. 130 – 142.
3. Бенайюн Р., Ларичев О.И., Ж. де Монговье, Ж. Терни Линейное программирование. Метод ограничений // Автоматика и телемеханика. – 1971 – № 8. – С. 108 – 115.
4. Растрингин А.Л., Эйдук Я.Ю. Адаптивные методы многокритериальной оптимизации // Автоматика и телемеханика. – 1985. – № 1. – С. 5 – 26.
5. Лурье З.Я. Многокритериальное проектирование радиально-поршневого гидромотора многократного действия // Привод и управление. – 2001. – № 1. – С. 22 – 26.
6. Горбатюк Н.В. Многокритериальное проектирование гидрообъемно-механической передачи / Н.В. Горбатюк // Промислова гідравліка і пневматика. – 2004. – № 2 (4). – С. 43 – 47.

7. *Оптнер С.М.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С.М. Оптнер. – М.: Советское радио, 1963. – 256 с.
8. *Кирьянов Д.В.* Самоучитель Mathcad 13. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 528 с.
9. *Дьяконов В.П.* VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.
10. *Андренко П.М.* Багатокритеріальна оптимізація параметрів гідроапаратів з осциляцією // Промислова гідравліка і пневматика. – 2008. – № 4 (22). С. 93 – 97.
11. *Андренко П.М.* Оптимізація гідравлічних пасивних гасителів пульсацій у гідроагрегатах // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2007. – № 17. – Тем. вип.: Технології в машинобудуванні. – С. 34 – 40.
12. *Андренко П.М.* Багатокритеріальна оптимізація параметрів гідроагрегату верстату для намотування обмоток електродвигунів // Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2010. – № 4. – Тем. вип.: Нові рішення в сучасних технологіях. – С. 53 – 60.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Дмитриенко О.В.

Аннотация – в работе приведено обоснование выбора метода для многокритериальной оптимизации параметров гидравлических устройств и компьютерного математического пакета для его реализации.

SOLUTION PROBLEM OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF HYDRAULIC DEVICE

O. Dmitrienko

Summary

The ground of choice of method is in-process given for multicriterion optimization of parameters of hydraulic devices and computer mathematical package for his realization.