

УДК 004.942; 517.977.5

ВИБІР МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНЖИНІРИНГУ

О. В. Василенко, кандидат технічних наук, доцент

Запорізький національний технічний університет

Я. І. Петренко, інженер-програміст 3 категорії

ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Преобразователь-комплекс»

e-mail: traven03@yahoo.com

Анотація. Ускладнення задач і функцій систем автоматичного керування (САК) та невпинний розвиток математичного базису програм для їхнього автоматизованого проектування призводить до того, що вибір найбільш відповідного методу і засобу отримання оптимального проектного рішення стає проблемою. У цій роботі розв'язано актуальну задачу вдосконалення методичного забезпечення етапу оптимізації САК на структурному і фізичному рівнях абстракції в системах автоматизованого інжинірингу (САЕ). Об'єктом дослідження був процес автоматизованого проектування САУ в САЕ, предметом дослідження – математичне та методичне забезпечення параметричної оптимізації та параметричного синтезу. Мета роботи – розвиток методичного забезпечення автоматизованого проектування САК в САЕ на прикладі програми 20-sim та розробка практичних рекомендацій для підвищення ефективності використання цього інструменту. Серед використаних в цьому науковому дослідженні методів – моделювання та узагальнення результатів.

Класифікація існуючих методів оптимізації, визначення їхніх загальних рис і принципів дозволили розробити порівняльну таблицю та визначити рейтинг, згідно якого рекомендовано обирати належний метод в програмах автоматизованих інженерних розрахунків та проектування. За результатами аналізу математичного і програмного забезпечення САЕ та модельного дослідження різних САК при структурному і фізичному підходах в програмі 20-sim, визначено області адекватного застосування засобів синтезу та методів параметричної оптимізації. Шляхом узагальнення результатів емпіричних досліджень, розроблено алгоритм та практичні рекомендації для вибору методу параметричної оптимізації в 20-sim.

Ключові слова: системи автоматичного керування, автоматизований інжиніринг, параметрична оптимізація, 20-sim, проектувальник контролерів, алгоритм вибору методу оптимізації

Актуальність. Проектування і моделювання САК здійснюється на різних ієрархічних рівнях в системах автоматизованого проектування в електроніці (ECAD), інжинірингу (CAE) і в універсальних математичних процесорах (CAS) [1,

с.12]. Кожна з цих систем має свої особливості програмного і математичного забезпечення для етапів проектування (синтезу, аналізу, оптимізації), процесів моделінгу (побудови моделі) і симуляції (розв'язання отриманих рівнянь). При проектуванні САК на різних рівнях абстракції необхідно грамотно користуватися інструментами дослідження, як на макрорівні (структурний підхід / мультидоменне, каузальне моделювання [2, с.39]), так і на мікрорівні (фізичний підхід / доменне, акаузальне моделювання [1, с.12]), тобто мати практичні навички для їхнього адекватного застосування.

З цих систем програми САЕ найбільш орієнтовані на проектування САК, оскільки мають в бібліотеках моделі блоків та елементів САК, дозволяють здійснити синтез САУ та реалізувати як каузальний, так і акаузальний підходи у моделюванні. З них програма 20-sim [2, с.2-5] вирізняється наявністю потужної демоверсії, алгоритмічною надійністю [1, с.13], можливістю транслювати будь-яку модель у Сі-код для використання в Matlab/Simulink, низкою методів параметричної оптимізації тощо, однак, рекомендацій для правильного вибору методу немає. На базі опорної структури в 20-sim можна здійснити автоматизований синтез регулятора, який теоретично буде оптимальним, але має бути визначені межі адекватного застосування призначених для цього інструментів.

Отже, програма 20-sim може стати потужним інструментом для проектування САК на різних рівнях абстракції за умови грамотного використання всіх її можливостей, для чого необхідно мати практичні навички та/або відповідне методичне забезпечення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Задачею програм автоматизованого синтезу САК є підбір таких параметрів / передавальних функцій блоків її структурної схеми, які мають забезпечити певну поведінку системи. Найбільш розповсюджені методи, які можна використовувати для автоматизованого параметричного синтезу САК: Зіглера-Нікольса [3, с.134], Чіна-Хронеса-Ресвіка (CHR-метод) [3, с.149], Коена-Куна [3, 180]; масштабування для нечітких регуляторів, релейної настройки; графо-аналітичний метод Ротача, резонансної

частоти Широкого, домінуючих коренів Соколова, Рейніша, Опельта, Кеслера (Betrag optimum), Латцеля (Betrag adaptation), Пройса (Betrag optimum за відсутності моделі об'єкта) [4-6], методи, адаптовані під програми автоматизації інженерних розрахунків тощо [7]. Специфічні засоби для автоматизованого синтезу в програмах САЕ будуть розглянуті нижче.

При зниженні рівня абстракції, коли частина блоків або вся САК представлена фізичною схемою (наприклад, електричною принциповою), необхідно використовувати процедуру параметричної оптимізації, яка знаходить такі значення параметрів елементів схеми, при яких цільова функція (ЦФ) при певних обмеженнях буде екстремальною, або прийме задані значення. Нині існує безліч методів параметричної оптимізації [2, с.134-182, 237; 5, с.344-434; 6, 7], переважно пошуку екстремуму ЦФ (objective function), які можна звести в три групи: найбільш розповсюджені, специфічні, допоміжні.

Різні програми поєднують методи (в основному) першої та третьої групи, друга знайшла застосування для оптимізації САК з нечіткою (Fuzzy) логікою [3, с. 298]. Найбільші колекції методів мають універсальні математичні процесори (CAS), а отже, і найбільші складності при виборі ефективного методу. Предметно-орієнтовані системи (CAD та САЕ) надають користувачу не більше десяти методів, однак, задача визначення найбільш придатного методу для оптимізації САУ із певними особливостями ЦФ залишається актуальною.

Мета дослідження – розвиток методичного забезпечення автоматизованого проектування САК в САЕ на прикладі програми 20-sim, а саме вироблення алгоритму параметричної оптимізації та практичних рекомендацій для синтезу оптимальних проектних рішень. Об'єктом дослідження є процес автоматизованого проектування САК в САЕ, предмет дослідження – математичне та методичне забезпечення оптимізації САК.

Матеріали та методи дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити існуючі алгоритми параметричної оптимізації та визначити специфічні риси САК, які обумовлюють вибір алгоритмів в математичних

процесорах САЕ. Необхідно також розробити методику вибору найбільш ефективного алгоритму в залежності від особливостей цільової функції та умов симуляції. Таким чином, потребує розв'язання низка задач:

- визначення підходів при проектуванні оптимальних САК в САЕ;
- аналіз ступеня придатності методів параметричної оптимізації для САК;
- визначення області адекватного застосування інструментів синтезу та оптимізації САК в обраній САЕ та вироблення практичних рекомендацій по їхньому застосуванню;
- розробка методики (алгоритму) оптимізації САК в обраній САЕ.

Результати досліджень. Процес параметричної оптимізації залежить від обраного підходу у моделінгу (рівня абстракції, особливостей моделі) та спирається на математичне забезпечення процесу симуляції, отже алгоритм вибору методу оптимізації (методики тощо) повинен розроблятися з урахуванням цих факторів. Практика демонструє, що оптимальне рішення при проектуванні САК можна отримати за допомогою двох різних підходів: на макрорівні – засобами і методами автоматизованого синтезу; на мікрорівні – засобами і методами параметричної оптимізації.

Зазвичай, для автоматизованого синтезу САК в програмі 20-sim використовується проектувальник регуляторів (CDE), який дозволяє синтезувати структурно завершену САК з контролем проміжних сигналів, оцінити чутливість системи, передавальну функцію замкнутого контуру, комплексну чутливість, реакцію системи на ступінчасту функцію тощо. Слід зауважити, що CDE працює з *лінійними* системами, тому нелінійні системи мають бути попередньо лінеаризовані у робочій точці за допомогою інструментів частотної області (FDT). Дослідження показали, що важливою відмінністю 20-sim є можливість відображення діаграм Боде та Найквіста для САК з ланкою вихідної затримки (зазвичай, САЕ дозволяють працювати з ланкою чистого запізнення тільки в часовій області).

Однак, САК в 20-sim можна синтезувати й за допомогою редактору фільтрів (FE) та редактору лінійних систем (LSE). LSE є інструментом синтезу динамічних

систем та ланок (а, отже і САК), він має інтерфейс і всі можливості CDE, окрім опції «Sub System» та «Additional Ports». Синтез здійснюється чотирма способами: за допомогою простору станів (State Space), передатної функції (Transfer Function), нулів-полісів ПФ (Zeros Poles Gain), власних значень частот (Eigen Frequencies). LSE дозволяє перетворювати дискретну (discrete-time) ланку в безперервну (continuous-time) та навпаки; також має функції імпортування та експортування редагованої системи в Matlab/Simulink та у текстовий файл, надає можливості для аналізу САК за допомогою діаграм Боде, Найквіста, Нікольса, карти нулів-полісів, реакції на h -функцію (Step Response) тощо [2, с.328].

П-, I-, Д-, III-, ПД-, послідовний та паралельний ПД-регулятори та ПД-компенсатор можна синтезувати в редакторі фільтрів (FE) на базі інформації про їхні бажані частотні та/або часові характеристики, для чого задаються частоти спряження, порядок фільтру, коефіцієнти передачі, добротність, коефіцієнт «слухняності» (tameness), постійні часу тощо. Так, наприклад, паралельний регулятор можна описати коефіцієнтами підсилення (для зони НЧ – K_i , для ВЧ – K_d , у смузі пропускання – K_p) та частотами спряження (інтегруючої частини – f_i та диференціюючої – f_d). ПД-компенсатор (послідовне з'єднанням регулятора і ВЧ-фільтра) можна описати постійними часу інтегруючої τ_i (Integration tau i), диференціюючої частини τ_d (Differentiation tau d) і фільтра $1/\tau_h$ (HF roll-off tau h); коефіцієнтом підсилення K на інтервалі частот від $1/\tau_i$ до $1/\tau_d$; крутизною β , що задає нахил АЧХ в зоні $1/\tau_d \dots 1/\beta\tau_d$ (tameness).

Областю адекватного застосування всіх наведених вище інструментів синтезу є каузальні [1, с.14] лінійні моделі САК, представлені на макрорівні, що зумовлює певні обмеження у дослідженні таких систем, зокрема, неможливо оцінити точність відтворення перехідних процесів, особливо для нелінійних систем та систем із структурними сингулярностями [1, с.14]. САК буде синтезована за наявною у бібліотеці структурою із типовими блоками і представлена блок-схемою, отже, для САК із іншою структурою та для моделювання на фізичному рівні необхідно зменшити рівень абстракції при моделінгу, перейти до фізичних нелінійних моделей елементів та використовувати *акаузальний* підхід при симуляції [1, с.14]. При цьому

оптимізація буде здійснюватися за функціональними схемами із варіацією параметрів її елементів, а модельний експеримент буде наближеним до натурального за точністю відтворення характеристик.

1. Класифікація методів оптимізації

Класифікація	Клас методів	Примітка (підкласи та приклади)
За наявністю обмежень на вектор варійованих параметрів	Безумовні	Без обмежень на вектор параметрів
	Умовні	З обмеженнями типу нерівностей
		З обмеженнями типу рівностей
За розмірністю вектору параметрів	Одновимірні	Варіюється один параметр (методи Фібоначчі, дихотомії, золотого перетину та інші)
	Багатопараметричні	Варіюється більше одного параметра (метод Нелдера-Міда та інші)
За характером шуканого рішення	Локальні	Метод Хука-Дживса, Пауела та ін.
	Глобальні	Методи відсікаючої площини, імітації відпалу, гілок і меж
За характером цільової функції (ЦФ)	Стохастичні	ЦФ має випадкові параметри
	Детерміновані	ЦФ апіорно детермінована
За способом досягнення результату	Алгоритмічні	Симплекс-метод та інші
	Ітеративні	Метод Ньютона, внутрішніх точок
	Евристичні	Еволюційні алгоритми
За кількістю попередніх врахованих кроків	Однокрокові	Враховується 1 попередній крок
	Багатокрокові	Враховується декілька попередніх кроків
За порядком використовуваних похідних	Нульового порядку (прямі)	Пауела, золотого перетину, Хука-Дживса, Нелдера-Міда
	Першого порядку (градієнтні)	Градiєнтний спуск, BFGS-метод, Левенберга-Марквардта-1, методи DFP та SR1, спряжених градієнтів
	Другого порядку	З використанням гессіана ЦФ: метод Ньютона, Ньютона-Рафсона

Всі техніки параметричної оптимізації можна групувати за різними категоріями. У табл. 1 пропонується наступна класифікація методів локальної та глобальної параметричної оптимізації, придатних для використання в циклі проектування САК [14, с.2].

З розглянутих вище методів в практичних задачах оптимізації моделей САК, якщо передбачається, що цільова функція (ЦФ) є гладкою і кількість варійованих параметрів (n) достатньо мала (тобто є можливість зберегти симетричну матрицю

$n \times n$), можуть використовуватися такі класи методів, що подані у вигляді рейтингу або шкали (рекомендуємо починати вибирати метод оптимізації з початку списку):

1. методи Ньютона з використанням других похідних;
2. методи Ньютона без використання гессіана;
3. квазі-Ньютонівські методи з використанням перших похідних;
4. квазі-Ньютонівські методи без використання градієнта (якобіана);
5. методи спряжених градієнтів з використанням перших похідних;
6. методи спряжених градієнтів без використання перших похідних;
7. симплекс-методи (Нелдера-Міда) з використанням тільки значень функції.

Ця ієрархія алгоритмів корисна не тільки при виборі початкового методу рішення в САЕ та CAS, але і вказує на можливі альтернативи. Переваги методів Ньютонівського типу відображаються використанням властивостей гессіана функції (тобто матриці других часткових похідних) для поліпшення алгоритмічної ефективності та надання якісної інформації про обчислений розв'язок; але квазі-Ньютонівська апроксимація не гарантує точного представлення істинного гессіана. Додаткова перевага Ньютонівських методів з'являється при вирішенні специфічних задач (ярова функція, пошук сідлової точки), адже тільки цей клас методів може гарантувати їхнього розв'язання. Для більшості задач надійність і ефективність Ньютонівських методів значно не погіршується, якщо для апроксимації других похідних (гессіана) використовуються кінцеві різниці (логіка методу взагалі не порушується при їх використанні) або градієнти [8, с.402].

На жаль, ці властивості не зберігаються для квазі-Ньютонівського класу методів, в якому кінцеві різниці значень функції використовуються для апроксимації перших похідних. Навіть при найкращій реалізації, квазі-Ньютонівський метод з апроксимацією кінцевими різницями не знайде розв'язок в області, де абсолютне значення градієнта функції невелике, але не нульове. Кінцево-різницеві квазі-Ньютонівські методи відрізняються від методів, що використовують безпосередньо похідні, алгоритмами вибору довжини кроку, а також зміною рекомендованого критерію зупинки алгоритму.

Симплекс-методи (нульового порядку) вимагають найменшу кількість інформації про функцію під час роботи (лише значення самої функції без отримання похідних першого та другого порядків), але є найменш надійними, тому цей клас методів можна використовувати для оптимізації САУ, якщо їм немає альтернативи.

Переваги та недоліки основних методів, придатних для параметричної оптимізації САУ, зведені в табл. 2. Методи позначаються аббревіатурою з перших літер своєї назви.

2. Порівняльна характеристика методів оптимізації

Метод	Переваги	Недоліки
Хука-Дживса	Не потребують вираження ЦФ в аналітичному виді. Прості обчислювальні процедури та реалізація	Не завжди можуть просуватися до мінімуму. Більші витрати часу ніж у градієнтних
Нелдера-Міда		
Розенброка		
Градієнтний	Краща збіжність ніж у попередніх	Втрата точності при обчисленні похідних
Полака-Райбера	Ефективні при застосуванні до ярових ЦФ	Чутливий до помилок, що виникають у процесі обчислень
DFP, BFGS	Найбільша швидкість збіжності при мінімізації ярових функцій	Збіжність залежить від початкового наближення (близькості параметрів до оптимальних). Накопичення похибки при прямому обчисленні похідних
Левенберга-Марквардта		
Ньютона		
ЛП-пошук	Швидша збіжність і вища точність, ніж у інших евристичних методів	У деяких випадках потребують уточнення результату
Холтона		

САЕ система 20-sim пропонує 8 методів оптимізації [2, с.425-429], з яких два перших використовують прямий пошук (нульового порядку), а останні – переважно градієнтний (методи першого або другого порядку):

- перпендикулярного пошуку (Perpendicular Search) – використовує напрям пошуку, який завжди є перпендикулярним до вісі параметру; одночасно може змінюватися тільки один параметр, інші утримують свої значення незмінними, а на наступному кроці береться другий параметр (зміна параметрів відбувається по черзі після кожного кроку) і процес продовжується;

- лінійний метод перпендикулярного пошуку (Line Climber), схожий на попередній, але спочатку відшукується екстремум цільової функції при зміні одного параметра (другий параметр при цьому залишається незмінним), а потім варіюється лише другий параметр (перший більше не змінюється) і так далі;

- найшвидшого спуску (Steepest Descent) – починає пошук у напрямку найкрутішого нахилу цільової функції; цей напрям зберігається для кожного нового кроку до знаходження мінімуму, а потім визначається новий напрям пошуку і процес триває;

- безперервного спуску (Continuous Descent) – подібний до попереднього, але на кожному новому кроці визначається новий напрям пошуку;

- Ньютона-Рафсона (Newton-Raphson) – використовує не лише градієнт функції, але і похідну другого порядку (створюється гессіан) для визначення напрямку пошуку, який зберігається для кожного нового кроку, поки не буде знайдено мінімум; потім визначається новий напрям пошуку і процес продовжується. Цей метод сходиться тільки коли матриця Гессе має позитивні значення, тобто коли початкові умови (початкове наближення) задані у відносній близькості до мінімуму;

- Полака-Райбера (Polack-Ribiere) – метод спряжених градієнтів, використовує градієнт функції та апроксимацію гессіана для пошуку розв'язку;

- Девідона-Флетчера-Пауела (DFP) – відноситься до класу квазі-Ньютонівських методів змінної метрики, використовує градієнт та апроксимацію гессіана функції (зазвичай використовується другорангове оновлення якобіана для створення апроксимованої матриці Гессе);

- BFGS-метод (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) з сімейства Бройденівських методів (квазі-Ньютонівського класу) – узагальнений метод січних, що використовує, окрім похідних першого порядку, подвійне першорангове оновлення градієнта (на кожній ітерації) для створення апроксимованого гессіана, замість його прямого обчислення (як це робиться в оригінальних Ньютонівських методах).

Методи першого порядку потребують більше кроків (ніж методи нульового порядку) для визначення градієнту і формування якобіана; метод Ньютона-Рафсона окрім цього ще повинен зробити додаткові розрахунки для знаходження похідних другого порядку і сформуванню істинний (неапроксимований) гессіан функції, тому цей метод потребує найбільшу кількість кроків та обсяг пам'яті з усіх інших. Прямі методи (нульового порядку), коли напрям нахилу функції не точно такий, як

напрямок пошуку, можуть почати хитатися, тобто постійно змінювати напрям, роблячи невеликі кроки, отже вони потенційно нестійкі.

Узагальнення отриманої в ході досліджень інформації, дозволило запропонувати алгоритм вибору методу параметричної оптимізації в 20-sim (рисунок). Рішення про вибір методу оптимізації приймається з урахуванням вигляду цільової функції (гладкість, опуклість, монотонність, комплексність, наявність і кількість локальних мінімумів та їх розташування) та її розмірності (кількості параметрів, які варіюються), доступного часу на відпрацювання ітераційного алгоритму від початку до знаходження рішення (кожен крок супроводжується актом симуляції для знаходження значень функції тощо), доступної пам'яті для зберігання проміжних результатів (особливо для багатокрокових методів вище нульового порядку) тощо.

Критеріями оптимізації частіше за все обираються швидкодія (оцінюється за часом наростання ($T_{\text{нарост}}$) та стійкість (оцінюється за значеннями «викидів»/перерегулювання σ). Якщо параметри перехідного процесу не входять в заданий діапазон, то регулятори вимагають додаткового налаштування.

Для підвищення ефективності використання інструментів синтезу та оптимізації САЕ-програми 20-sim сформульовано такі практичні рекомендації:

- навіть якщо систему синтезовано в LSE, або в CDE, для повного дослідження динамічних властивостей системи та для параметричної оптимізації має бути виконане акаузальне моделювання (на базі функціональної/електричної схеми);

- з метою підвищення збіжності процедур оптимізації необхідно спочатку виконувати багатоваріантний аналіз Parameter Sweep із накопиченням графіків, що дозволить точніше визначити межі варійованих параметрів, а отже і початкове наближення;

- в задачах оптимізації параметрів моделі САК (в тому числі для автоматичної настройки коефіцієнтів регуляторів) для одновимірної оптимізації слід використовувати прямі методи (з одним параметром для варіації), а DFP- та BFGS-

методи – для багатопараметричної оптимізації (як в наведеному прикладі), та для безумовної нелінійної оптимізації;

якщо параметри перехідних процесів не входять в допустимий діапазон, регулятори потребують додаткових налаштувань, тобто повернення на етап синтезу.

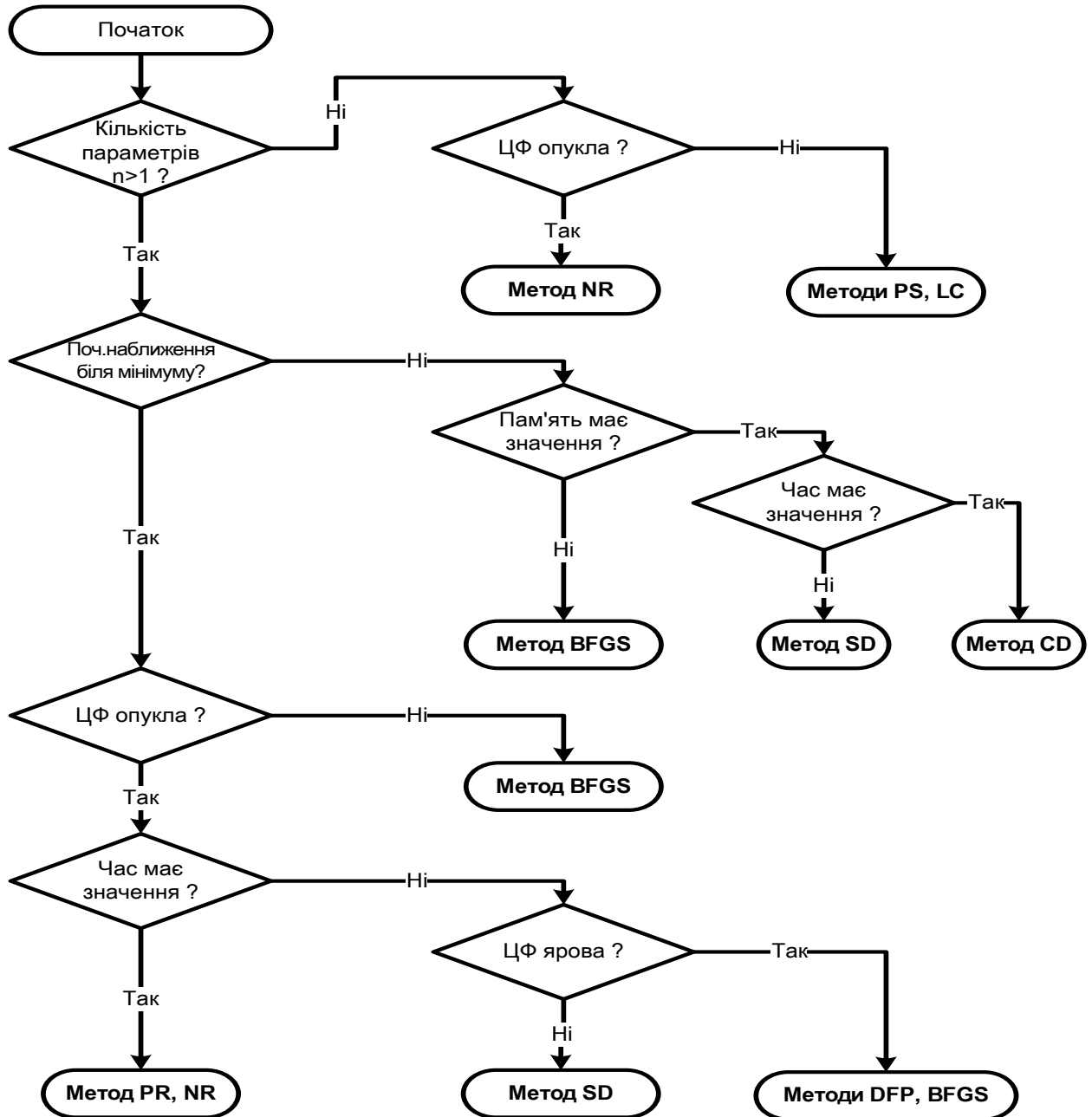


Рисунок. Алгоритм вибору методу оптимізації в 20-sim

Висновки

Результатом роботи є практичні рекомендації та алгоритм вибору методу оптимізації, що сприяє подальшому розвитку методичного забезпечення автоматизованого проектування САК засобами САЕ. В роботі систематизовано підходи та засоби для синтезу та оптимізації САК, визначено області адекватного застосування цих інструментів. На основі огляду основних методів параметричної оптимізації визначено, ранжовано та класифіковано основні методи для параметричної оптимізації САК в САЕ.

Показані переваги засобів блочного синтезу в 20-sim, зокрема, дають можливість синтезу (і аналізу) САК із ланками запізнення. Обрана програма також забезпечує можливості більш детального фізичного акаузального моделінгу, що дає можливість досліджувати і оптимізувати нелінійні динамічні ланки на рівні функціональних та електричних схем, навіть із структурними сингулярностями (ланками запізнення тощо). Для такого підходу розроблено алгоритм вибору методу параметричної оптимізації залежно від особливостей ЦФ, надані рекомендації по організації процесів симуляції та оптимізації.

Зазначений алгоритм корисний і для тих користувачів, хто для проектування САК використовує CAS-системи. Розробка аналогічного алгоритму для найбільш вживаних CAS є перспективним напрямком продовження цієї роботи, оскільки CAS володіють ще більш широким спектром методів параметричної оптимізації.

Список літератури

1. Василенко О. В. Повышение качества моделирования динамических систем выбором оптимальных алгоритмов симуляции [Текст]/ О.В. Василенко, Я.И. Петренко // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2016. – №4. – С.11-18.
2. Kleijn Ir.C. 20-sim 4.3 Reference Manual [Текст]/ Ir.C. Kleijn, Ir.M.A. Groothuis, Ir.H.G. Differ. Netherlands, Enschede: Controllab Products B.V., 2013. – 1064 p. doi: 10.15588/1607-3274-2016-4-2
3. Astrom K.J. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning / K.J. Astrom, T. Hagglund. – NC: ISA, 1995. – 408 p.
4. Optimization algorithms and methods [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Optimization_algorithms_and_met

5. Bazaraa, M. S. Nonlinear programming: theory and algorithms / Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali, C. M. Shetty. 3rd ed. [Text] / New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006. – 853p.

6. Floudas, C. A., Pardalos, P. M., (Eds.) Encyclopedia of Optimization. 2nd ed. [Text] / New York: Springer-Verlag, 2009. – 4626 p.: 613 illus.

7. A. Neumaier. Global Search, As Timely As Ever, Global Optimization [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://solon.cma.univie.ac.at/~neum/glopt.html>

8. Василенко, О.В. Алгоритми параметричної оптимізації САУ [Текст] : тези доповідей II Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» / О.В. Василенко, Я.І. Петренко // Тези доповідей. – Дніпро: ДХТУ, 2016. – С.136-139.

References

1. Vasylenko, O.V., Petrenko, Y.I. (2016) Povyshenie kachestva modelirovaniya dinamicheskikh sistem vyborom optimal'nyh algoritmov simulyacii [Improving analysis of dynamical systems by selection the optimal algorithm of simulation]. Radio Electronics, Computer Science, Control, 4 (39), 11–18.

2. Kleijn, Ir. C., Groothuis, Ir. M.A., Differ, Ir. H. G. (2013). 20-sim 4.3 Reference Manual. Netherlands, Enschede: Controllab Products B.V., 1064 p. doi: 10.15588/1607-3274-2016-4-2

3. Astrom, K.J., Hagglund, T. (1995). PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. NC: ISA, 408 p.

4. Optimization algorithms and methods. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Category:Optimization_algorithms_and_methods

5. Bazaraa, Mokhtar S., Sherali, Hanif D., Shetty, C. M.. (2006). Nonlinear programming: theory and algorithms. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 853 p.

6. Floudas, C. A., Pardalos, P. M., (2009). Encyclopedia of Optimization. New York: Springer-Verlag, 4626 p.

7. A. Neumaier. Global Search, As Timely As Ever, Global Optimization. Available at: <http://solon.cma.univie.ac.at/~neum/glopt.html>

8. Vasylenko, O. V., Petrenko, Y. I. (2016) Alhorytmy parametrychnoyi optymizatsiyi SAU [Algorithms of parametric optimization of ACS]. Proceeding of 2th international Conference Komp'yuterne modelyuvannya ta optymizatsiya skladnykh system [Computer simulation and optimization of complex systems]. Dnipro (Ukraine), 136-139.

ВЫБОР МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ САУ В САЕ

О. В. Василенко, Я. И. Петренко

Аннотация. Усложнение задач и функций систем автоматического управления (САУ) и непрерывное развитие математического базиса программ для их автоматизированного проектирования приводит к тому, что выбор наиболее подходящего метода и средства получения оптимального проектного решения

становится проблемой. В данной работе решена актуальная задача совершенствования методического обеспечения этапа оптимизации САУ на структурном и физическом уровнях абстракции в системах автоматизированного инжиниринга (САЕ). Объектом исследования был процесс автоматизированного проектирования САУ в САЕ, предметом исследования – математическое и методическое обеспечение параметрической оптимизации и параметрического синтеза. Цель работы – развитие методического обеспечения автоматизированного проектирования САУ в САЕ на примере программы 20-sim и разработка практических рекомендаций для повышения эффективности использования этого инструмента. Среди использованных в этом научном исследовании методов – моделирование и обобщение результатов.

Классификация существующих методов оптимизации, определение их общих черт и принципов позволили разработать сравнительную таблицу и определить рейтинг, согласно которому рекомендуется выбирать надлежащий метод в программах автоматизированных инженерных расчетов и проектирования. По результатам анализа математического и программного обеспечения САЕ и модельного исследования различных САУ при структурном и физическом подходах в программе 20-sim определены области адекватного применения средств синтеза и методов параметрической оптимизации. Путем обобщения результатов эмпирических исследований, разработан алгоритм и практические рекомендации для выбора метода параметрической оптимизации в 20-sim.

Ключевые слова: *системы автоматического управления, автоматизированный инжиниринг, параметрическая оптимизация, 20-sim, проектировщик контроллеров, алгоритм выбора метода оптимизации*

SELECTION OF METHOD TO OPTIMIZE ACS IN CAE

O. V. Vasylenko, Y. I. Petrenko

Abstract. *The increasing complexity of the tasks and functions of automatic control systems (ACS) and the continuous development of the mathematical basis of programs for their computer-aided design leads to the fact that the choice of the most appropriate method and means of optimum design solution becomes a problem. The task of improving the methodological support of optimization automatic control systems (ACS) on the structural and physical levels of abstraction in systems computer-aided engineering (CAE) was performed in this paper. The object of research was the process of computer-aided design of ACS in the CAE, the subject of investigation - mathematical and methodical support of parametric optimization. Objective: development methodological support of computer-aided design ACS in CAE for the example of program 20-sim, for more efficient using of this tool in the synthesis procedures of optimal design solutions. Among study methods used in this research - simulation and synthesis of the results.*

Classification of existing methods of optimization, definition of their common features and principles, allowed developing the comparative table and determine the rating, according to which it is recommended to choose the appropriate method in the programs

of automated engineering calculations, engineering and design. According to the analysis of mathematical and software of CAE and ACS simulation by the structural and physical approaches in program 20-sim, identifies areas adequate application of synthesis tools and methods of parametric optimization. By summarizing the results of empirical research, we developed an algorithm and practical recommendations for choosing a method of parametric optimization in 20-sim.

Key words: *automatic control system, computer-aided engineering, parametric optimization, 20-sim, Controller Design Editor, selection algorithm of optimization method*