**Козак Олег Володимирович**

Аспірант, спеціальність 123 «Комп’ютерна інженерія»

Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів

**ОГЛЯД МЕТОДІВ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ОБ'ЄКТІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ**

Параметрична оптимізація відіграє вирішальну роль у підвищенні продуктивності та ефективності систем керування, особливо в галузі електромагнітних об'єктів. Динамічна природа систем керування зумовлює необхідність коригування різних параметрів для досягнення бажаних цілей, таких як підвищення ефективності, зниження енергоспоживання або розширення функціональних можливостей.

Складність електромагнітних систем у поєднанні з різноманітними цілями керування створює значні труднощі в досягненні оптимальної продуктивності. Традиційні підходи до проектування часто покладаються на ручне налаштування або методи проб і помилок, які можуть займати багато часу, бути трудомісткими і не давати оптимальних результатів. Тому існує нагальна потреба в систематичних методологіях, які можуть ефективно оптимізувати параметри електромагнітних об'єктів у системах керування [1].

Під параметричною оптимізацією розуміють процес систематичного налаштування параметрів системи або моделі для оптимізації певної цільової функції. У контексті електромагнітних об'єктів у системах керування параметрична оптимізація передбачає коригування таких параметрів, як властивості матеріалу, геометричні розміри та умови експлуатації для досягнення бажаних показників ефективності. Процес оптимізації можна полегшити за допомогою різних математичних моделей, обчислювальних алгоритмів і підходів, що базуються на імітаційному моделюванні.

Для параметричної оптимізації електромагнітних об’єктів систем керування використовують наступні методи [2]:

1. Метод рою часток (Particle Swarm Optimization або PSO)

Цей метод оптимізації, натхненний соціальною поведінкою птахів, що злітаються в зграї. У PSO потенційні рішення, які називаються частинками, досліджують простір рішень, змінюючи свої позиції на основі власного досвіду та колективної інформації, якою обмінюються в рої [3]. Кожна частинка ітеративно коригує свою позицію в напрямку оптимального рішення, керуючись своїм особистим найкращим рішенням і глобальним найкращим рішенням, знайденим роєм.

Переваги:

PSO є обчислювально ефективним і простим у реалізації. Він вимагає мінімального налаштування параметрів порівняно з іншими методами оптимізації. Він продемонстрував ефективність у пошуку близьких до оптимальних розв'язків для оптимізаційних задач з нелінійними та мультимодальними цільовими функціями, а також підходить для задач з неперервним простором пошуку і може ефективно вирішувати задачі оптимізації високої розмірності [4].

Недоліки:

Одним з обмежень PSO є його схильність до передчасної збіжності до локальних оптимумів. Ефективність PSO сильно залежить від параметрів, таких як розмір рою, інерційна вага та коефіцієнти прискорення. Крім того, PSO може не справлятися із задачами, які мають зашумлені цільові функції, оскільки він покладається на плавні градієнти для керування процесом пошуку [4].

2. Градієнтні методи

Градієнтні методи, також відомі як алгоритми оптимізації на основі градієнтного спуску, ітераційно оновлюють параметри системи, слідуючи за напрямком найкрутішого спуску цільової функції. Ці методи використовують градієнт або похідну цільової функції по відношенню до параметрів для визначення напрямку і величини оновлення параметрів.

Переваги:

Градієнтні методи є обчислювально ефективними і добре підходять для оптимізації гладких і диференційованих цільових функцій [5]. Вони пропонують систематичний підхід до пошуку локальних мінімумів шляхом ітеративного налаштування параметрів у напрямку мінімізації цільової функції. Градієнтні методи можуть швидко збігатися до локального оптимуму.

Недоліки:

Схильні до застрявання в локальних мінімумах. Ці методи покладаються на гладкість і диференційованість цільової функції, що робить їх менш придатними для задач з розривами або негладкими функціями [5]. Крім того, градієнтні методи можуть мати проблеми зі збіжністю в задачах оптимізації, де кривизна цільової функції значно змінюється при різних значеннях параметрів.

3. Генетичні алгоритми (ГА)

ГА - це еволюційні методи оптимізації, засновані на принципах природного відбору та генетики. У ГА популяція потенційних рішень, представлених як особини або хромосоми, проходить ітеративну еволюцію за допомогою операцій відбору, кросинговеру, мутацій та розмноження [6]. Ці операції імітують процес природного відбору, де більш пристосовані особини мають більше шансів вижити і дати потомство зі сприятливими ознаками.

Плюси:

ГА - це надійні та універсальні методи оптимізації, здатні досліджувати складні та мультимодальні пошукові простори. Мають можливість глобального пошуку, що дозволяє їм уникати локальних мінімумів. ГА особливо добре підходять для задач із нелінійними, розривними або зашумленими цільовими функціями, оскільки вони не покладаються на інформацію про градієнт [7]. Вони можуть розв'язувати задачі оптимізації зі змішано-цілими або дискретними параметрами і легко розпаралелюються, що робить їх придатними для задач оптимізації високої розмірності.

Недоліки:

Одним з недоліків генетичних алгоритмів є їх обчислювальні витрати. Продуктивність ГА сильно залежить від налаштувань параметрів, таких як розмір популяції, швидкість кросинговеру і мутацій, а також стратегій відбору. ГА також можуть мати проблеми з задачами, які мають жорсткі обмеження або потребують спеціалізованих операторів для ефективної оптимізації [8].

Вибір відповідного методу оптимізації для параметричної оптимізації електромагнітних об'єктів в системах керування залежить від різних факторів, таких як характер задачі оптимізації, складність цільової функції та доступні обчислювальні ресурси. У той час як оптимізація методом рою часток (PSO) пропонує простоту і ефективність, градієнтні методи забезпечують швидку збіжність в гладких і опуклих оптимізаційних ландшафтах.

Однак для складних і мультимодальних задач оптимізації, які часто зустрічаються в електромагнітних системах, генетичні алгоритми (ГА) стають надійним і універсальним вибором [9]. ГА чудово досліджують різноманітні простори рішень, працюють з нелінійними і розривними цільовими функціями і пропонують можливості глобального пошуку, що робить їх особливо придатними для оптимізації електромагнітних об'єктів в системах управління [10].

**Література**

1. Shebanin V., Potryvaieva N., Vakhonina L., Zhorniak L., Sadovoy O. (2022) "Optimization Method for Electromagnetic Systems of Electrical Apparatus" 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, pp. 1-4.
2. Raju R.V.S. (2013). Optimization Methods for Engineers. Phi Learning. pp. 200.
3. Clerc M. (2013). Particle Swarm Optimization. Wiley-ISTE. pp. 243.
4. Walker B. (2017). Particle Swarm Optimization Pso: Advances in Research and Applications. pp. 100.
5. Andrei N. (2020). Nonlinear Conjugate Gradient Methods for Unconstrained Optimization. Springer. pp. 526.
6. Deb K. (2009). Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. John Wiley & Sons, pp. 544.
7. Moriarity S. (2021). Genetic Algorithms in Elixir: Solve Problems Using Evolution. Pragmatic Bookshelf. pp. 244.
8. Simon D. (2013). Evolutionary optimization algorithms. John Wiley & Sons, Inc, pp. 784.
9. Yang X. S. (2020). Nature-Inspired Optimization Algorithms. (Second Edition), Elsevier, pp. 310.
10. Michielssen E., Rahmat-Samii Y. (2008). Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms. Wiley-Interscience. pp. 512.