

УДК 681.5:004.89

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Соколец А. А.¹, Кудайбергенов Нурбол²

*¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харків, Україна*

²Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

Попри широке розповсюдження асинхронних і безколекторних двигунів, двигуни постійного струму (ДПС) з постійними магнітами досі активно використовуються у мехатронних та робототехнічних системах. На відміну від асинхронних або безколекторних двигунів, ДПС характеризуються простим та передбачуваним керуванням швидкістю, моментом і напрямком обертання.

Основними регуляторами, що застосовуються для керування ДПС залишаються ПІД-регулятори, що пояснюється їхньою простотою реалізації та здатністю забезпечити прийнятну якість перехідних процесів.

Однією з основних проблем застосування ПІД-регулятора є складність вибору оптимальних значень їхніх коефіцієнтів. Поширені методи налаштування (спроб і помилок, Зіглера–Ніколса, методи на основі частотних характеристик) забезпечують лише приблизні початкові значення параметрів, які надалі потребують уточнення. Це створює необхідність використання сучасних методів оптимізації параметрів ПІД-регуляторів для керування ДПС. В даній роботі з цією метою запропоновано використання генетичного алгоритму.

Таким чином, об'єкт даного дослідження – процес керування ДПС. Предмет – методи оптимізації параметрів ПІД-регулятора для забезпечення заданої якості керування ДПС.

Мета дослідження – підвищення якості керування ДПС шляхом оптимізації параметрів ПД-регулятора за допомогою генетичного алгоритму.

Генетичний алгоритм належить до класу еволюційних обчислювальних методів, у яких пошук розв'язку здійснюється за аналогією з природною еволюцією [1]. Замість того щоб аналізувати математичні властивості функції, алгоритм працює з множиною можливих рішень, яка інтерпретується як популяція. Кожне рішення подається у вигляді хромосоми, що містить набір числових параметрів, а якість цього рішення визначається спеціальною функцією пристосованості.

Процес оптимізації починається з випадкового формування початкової популяції, яка включає різноманітні комбінації параметрів. Для кожного кандидата обчислюється значення критерію якості, після чого алгоритм відбирає найкращі рішення. Відбір у цьому випадку імітує природний добір: рішення, що демонструють кращу пристосованість, мають більші шанси «передати» свої властивості наступному поколінню. На наступному етапі здійснюється схрещування, коли двоє «батьків» утворюють нове рішення, поєднуючи частини своїх параметрів. Такий обмін інформацією дозволяє алгоритму комбінувати вдалі властивості різних хромосом і отримувати потенційно кращі варіанти.

Для забезпечення здатності алгоритму шукати нові рішення та не «застрягти» передчасно у локальному мінімумі застосовується механізм мутації, тобто випадкової зміни окремих параметрів хромосоми. Після формування нового покоління відбувається повторне оцінювання його пристосованості, і цикл «відбір – схрещування – мутація» продовжується доти, доки алгоритм не досягне прийняттого значення критерію якості або не завершить задану кількість поколінь.

Перевагою генетичного алгоритму є його здатність знаходити близькі до оптимальних рішення у задачах, для яких класичні методи є малоефективними або взагалі непридатними. Він не вимагає точних

математичних моделей, працює в умовах невизначеності та не накладає обмежень на вид цільової функції. Завдяки цим властивостям генетичний алгоритм широко використовується для оптимізації технічних систем.

Як вже зазначалося, у даному дослідженні запропоновано використати генетичний алгоритм для оптимізації параметрів ПД-регулятора, що керує ДПС. Розглянемо класичний ПД-регулятор, який описується наступним рівнянням:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (1)$$

де $e(t)$ – помилка керування, а K_p , K_i та K_d – параметри регулятора, які підлягають оптимізації.

У якості цільової функції обрано інтеграл від зваженого модуля помилки керування:

$$J = \int_0^T t |e(t)| dt. \quad (2)$$

Множник t дозволяє зменшити вплив великої початкової помилки, яка характерна для більшості перехідних процесів, та надає більшої ваги відхиленням, що зберігаються в середині та наприкінці руху системи керування [2]. Крім того, на відміну від інтеграла від зваженого квадрата помилки, критерій (2) не такий чутливий до одиничних стрибків помилки з великою амплітудою.

Процес оптимізації значень параметрів ПД-регулятора пояснює алгоритм, блок-схема якого наведена на рис. 1.

Алгоритм розпочинається із задання допустимих діапазонів коефіцієнтів ПД-регулятора K_p , K_i та K_d . Після цього формується початкова популяція хромосом, кожна з яких містить один можливий набір цих параметрів. Для кожної особини моделюється робота системи керування ДПС та обчислюється значення цільової функції (2), що використовується як показник пристосованості.

Після оцінювання популяції виконується перевірка умови зупинки пошуку. Якщо мінімальне значення критерію досягло визначеного порогу

або спостерігається збіжність процесу оптимізації, відповідний набір коефіцієнтів приймається як оптимальний, і алгоритм завершується. У разі, якщо умову зупинки не виконано, генетичний алгоритм переходить до етапів відбору,

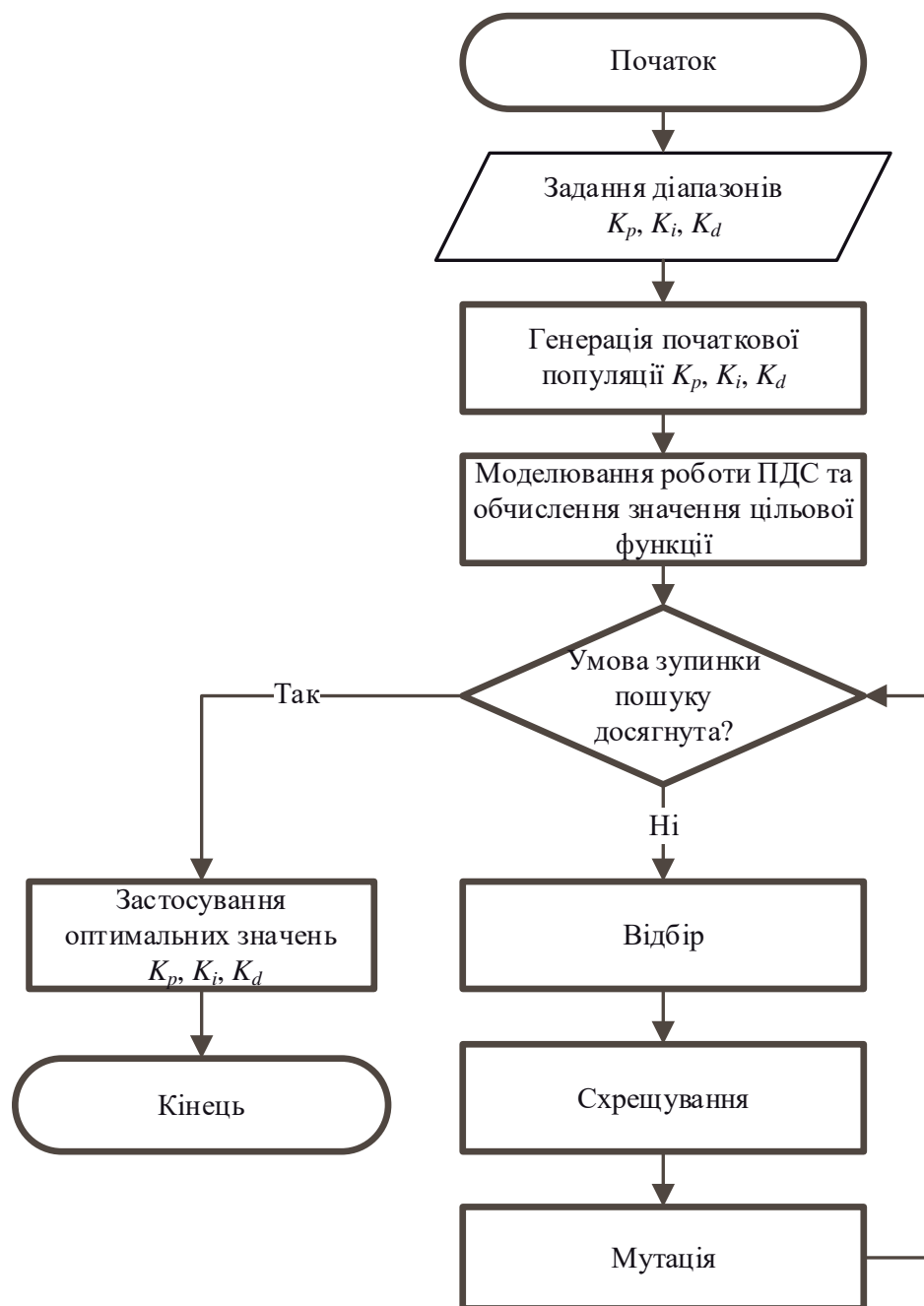


Рисунок 1 – Алгоритм оптимізації значень параметрів ПІД-регулятора

схрещування та мутації, у результаті яких формується нове покоління хромосом. Для оновленої популяції процес моделювання та оцінювання

повторюється, що забезпечує еволюційне наближення значень параметрів регулятора до оптимальних.

Література:

1. Троцько В.В. Методи штучного інтелекту: навчально-методичний і практичний посібник. Київ: Ун-т економіки та права «КРОК», 2020. 86 с.
2. Gurko A., Petrenko Yu. PSO-Based Controller Tuning for a Laser Technical Vision System. Proceeding of 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Kharkiv, Ukraine, October 03 - 07, 2022. P. 400 – 404. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916393>.