

УДК 621.431.74

DOI: 10.31653/1819-3293-2026-1-31-40-54

ARTICLE HISTORY

Received 02.04.2026

Accepted 05.05.2026

Горб Сергій Іванович¹, Будуров Микола Ігорович²,
Поповський Олексій Юрійович³

Національний університет "Одеська морська академія", Одеса, Україна
gs@onma.edu.ua¹, budurovuk@gmail.com²,
alexejpopovskij57@gmail.com³

Ефективність методів пошуку екстремуму при оптимізації електронного регулятора частоти обертання суднового дизеля

Gorb Sergii¹, Budurov Mykola², Alexey Popovskii³
National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine
gs@onma.edu.ua¹, budurovuk@gmail.com²,
alexejpopovskij57@gmail.com³

Effectiveness of Extremum-Search Methods in Optimizing the Electronic Speed Governor of a Marine Diesel Engine

Резюме. Досліджено ефективність спеціалізованих методів пошуку екстремуму при оптимізації налаштувань електронного регулятора частоти обертання Nabtesco MG-800 у складі головного суднового дизеля MAN B&W 6S60MC-C7 в умовах дії морського хвилювання. Показано, що градієнтний метод забезпечує високу швидкість збіжності, але є чутливим до локальних екстремумів, тоді як симплексний метод надійніше визначає область глобального оптимуму, проте вимагає контролю граничних умов. Безградієнтний метод Гук-Дживса забезпечує найглибше мінімізування критерію за рахунок більшої кількості ітерацій і підвищених обчислювальних витрат. Визначено вплив вибору кроку пошуку та діапазонів зміни параметрів на ймовірність збіжності до локальних екстремумів.

Summary. The effectiveness of specialized extremum-search methods for optimizing the tuning parameters of the Nabtesco MG-800 electronic speed

governor as part of the main marine diesel engine MAN B&W 6S60MC-C7 under sea-wave operating conditions has been investigated. It is shown that the gradient method provides a high convergence rate but is sensitive to local extrema, whereas the simplex method more reliably identifies the region of the global optimum, although it requires control of boundary constraints. The derivative-free Hooke–Jeeves method ensures the deepest minimization of the criterion at the cost of a larger number of iterations and increased computational effort. The influence of the choice of search step and the ranges of parameter variation on the probability of convergence to local extrema has been determined.

Сучасні регулятори частоти обертання (РЧО) суднових дизельних установок функціонують на основі складних алгоритмів, у яких реалізуються нелінійності, зумовлені обмеженням внутрішніх сигналів і динамічною адаптацією блоків перетворення залежно від параметрів збурюючих впливів. Суттєві нелінійності в системі автоматичного регулювання частоти обертання (САРЧ) дизельних установок також пов'язані з циклічністю робочого процесу дизелів, особливостями їхніх навантажувальних характеристик і коливаннями навантаження в умовах морського хвилювання.

При оптимізації конструктивних і налаштувальних параметрів РЧО нелінійний характер системи автоматичного регулювання може призводити до виникнення локальних екстремумів. У результаті знайдені значення параметрів можуть виявитися лише локально, а не глобально оптимальними. Подібна проблема спостерігалася при оптимізації гідравлічних ізодромних регуляторів [1 – 5] і частково проявилася в ході оптимізації електронного контролерного регулятора Kongsberg DGS C20 [6].

У роботі [1] застосовано градієнтний метод знаходження екстремуму цільової функції для оптимізації регресійної моделі гідромеханічного РЧО у складі головного двигуна (ГД) судна. Процес оптимізації охоплював амплітудно-частотні характеристики дизельної установки та регулятора. Суть методу полягає в тому, що в будь-якій точці факторного простору обчислюється вектор градієнта функції, який вказує напрямок найшвидшого спадання (зростання) функції. У цьому напрямку здійснюється рух протягом певного кроку. У кінці кроку градієнт знову обчислюється, і процедура розрахунку повторюється. Швидкість наближення до екстремуму функції залежить від алгоритму вибору кроку переміщення уздовж градієнта. Найчастіше крок вибирається з умови руху вздовж градієнта доти, доки не припиняється спадання (зростання) оптимізованої функції.

У роботі [2] показано, що перевагами стандартного симплексного методу пошуку екстремуму для гідравлічного РЧО є його простота, можливість урахування обмежень на значення факторів, а також можливість додавання або виключення з розгляду окремих факторів у процесі експерименту.

Застосування комплексного методу пошуку екстремуму [3] у розв'язуванні задачі при потраплянні в область локального екстремуму у факторному просторі призводило до зупинки процедури оптимізації, оскільки відповідно до алгоритму методу відбувається зменшення кроку розрахунку. Крім того, на початкових етапах оптимізаційної процедури експерименти проводяться із використанням генератора випадкових чисел, що у більшості випадків для вже достатньо оптимізованої конструкції РЧО призводило до погіршення оптимізованих параметрів.

Кращих результатів оптимізації було досягнуто при застосуванні математичного методу пошуку екстремуму Гука-Дживса [4], ідея якого полягає у поєднанні двох оптимізаційних процедур: "дослідного" пошуку з циклічним перебором оптимізованих змінних і "прискорювального" пошуку за зразком. "Дослідний" пошук спрямований на виявлення локальної поведінки цільової функції та визначення напрямків руху "вздовж ярів". Пошук за зразком полягає у виконанні одного кроку з нової точки, координати якої відповідають успішним припущенням параметрів, уздовж прямої, що з'єднує цю точку з початковою. Перевагою методу є те, що застосування не призводить до погіршення значення цільової функції порівняно з її значенням як у початковій, так і в наступних базових точках факторного простору, навіть за наявності кількох локальних мінімумів у їх околі.

У роботі [5] використано метод випадкового пошуку екстремуму, який характеризується як ефективний і досить простий в реалізації при оптимізації складних аналітичних моделей. За наявності у факторному просторі великої кількості локальних екстремумів метод рекомендовано застосовувати з використанням адаптивного алгоритму зі змінним кроком. У цьому алгоритмі випадкові вибірки використовуються для визначення напрямку пошуку, а довжина кроку змінюється відповідно до досягнутого рівня мінімізації цільової функції. Такий адаптивний підхід дозволяє балансувати між глобальним пошуком і локальним уточненням, підвищуючи ймовірність знаходження глобального мінімуму в складних багатовимірних просторах.

При оптимізації електронного РЧО у факторному просторі збурень, що діють на дизель під час хвилювання моря, оптимізаційні процедури

також потрапляють у локальні екстремуми критерію оптимальності [6]. Наприклад, при використанні стандартного градієнтного методу у практичній задачі оптимізації налаштування електронного регулятора Nabtesco MG-800 було отримано значення критерію оптимальності, що перевищує аналогічний показник для методу покоординатної оптимізації на 19 % [7]. Таким чином, унаслідок збіжності до локального екстремуму значення критерію оптимальності виявилось гіршим, що також супроводжувалося збільшенням нестабільності частоти обертання ГД.

Однак, поширити результати досліджень із гідравлічними РЧО на електронні не представляється можливим, оскільки дизельні установки з електронними регуляторами контролерного типу, які останніми роками набули широкого поширення, мають додаткові налаштування, зокрема параметрів логічної частини, обробки та обмеження сигналів, виконавчого механізму (ВМ), адаптивної корекції тощо. У зв'язку з цим завдання оптимізації налаштування електронних РЧО суттєво ускладнилося та стало більш багатофакторним.

Таким чином, існує практична проблема вибору методу пошуку екстремуму при оптимізації електронного РЧО дизелів, динамічні режими яких пов'язані з морським хвилюванням.

Метою дослідження є оцінка можливостей застосування спеціалізованих методів пошуку екстремуму при оптимізації налаштування електронного РЧО ГД для забезпечення знаходження глобального оптимуму та зменшення ймовірності потрапляння в локальні екстремуми критерію оптимальності в умовах хвилювання моря.

Оскільки цільова функція у зазначеній задачі має складний характер і її графічна інтерпретація являє собою поверхню з множиною локальних мінімумів, як критерій оптимальності обрано мінімум нестабільності регульованого параметра, тобто амплітуди коливань частоти обертання дизеля $\Delta\omega_d$. Цей мінімум має досягатися при найімовірніших значеннях зміни амплітуди збурення (δ_λ) та періоду коливань (хитами судна) на головну дизельну установку [7].

У роботі [8] показано, що при оптимізації параметрів РЧО в умовах хвилювання моря досягаються практично однакові результати як при використанні детермінованої функції збурюючого впливу на ГД, яка враховує зворотний вплив дизеля на збурення, так і при використанні звичайної синусоїди. У зв'язку з цим для модельного дослідження динамічних характеристик САРЧ використана форма збурюючого впливу у вигляді синусоїдальної функції.

Для розв'язання задачі оптимізації використано модель із роботи [9], яка дозволяє аналізувати вплив конструктивних і параметрів

налаштування РЧО на динамічні властивості САРЧ дизеля. Модель враховує циклову нестабільність крутного моменту протягом робочого циклу, інерційні властивості дизеля та запізнення в каналі передавання керуючого впливу від регулятора (зумовлені циклічністю подачі палива та особливостями формування крутного моменту в кривошипно-шатунному механізмі).

Процедуру оптимізації проведено для ГД MAN B&W 6S60MC-C7, обладнаного електронним РЧО Nabtesco MG-800. Двигун із прямою передачею на гребний гвинт, крок якого фіксований, має наступні технічні характеристики [10]:

- діаметр циліндра – 600 мм;
- хід поршня – 2400 мм;
- номінальна потужність – 13560 кВт;
- номінальна частота обертання – 105 хв⁻¹;
- середній індикаторний тиск – 19 кгс/см²;
- максимальний тиск згоряння – 150 кгс/см².

Для зменшення впливу обмежень подачі палива на динаміку САРЧ дослідження виконувалося при середньому навантаженні двигуна 75 % від номінального, що відповідає експлуатаційному режиму з частотою обертання 95,4 хв⁻¹.

Числові значення використаних параметрів моделі відповідають конструкторській документації досліджуваного дизеля та РЧО [11]:

- час розгону дизеля $T_d = 2,3$ с;
- кут випередження упорскування палива на номінальному режимі $\varphi_i = -2,5$ град. ПКВ;
- час запізнення $\tau_d = 0,026$ с;
- час ВМ РЧО $T_c = 0,4$ с;
- нерівномірність керуючого елемента ВМ $\delta_{c.a} = 0,04$ відн. од.;
- час розгону виконавчого електродвигуна $T_e = 0,03$ с;
- коефіцієнт підсилення пропорційної ланки $k_p = 2,2$ відн. од.;
- час інтегруючої ланки $T_i = 2$ с;
- коефіцієнт передачі диференціюючої ланки $k_d = 0$ відн. од.
- відносна ширина зони нечутливості $\varepsilon = 0,005$ відн. од.;
- коефіцієнт передачі зони нечутливості $k_g = 0,5$ відн. од.;
- коефіцієнт передачі ланки форсування розгону і гальмування виконавчого електродвигуна $k_a = 0,4$ відн. од.;
- коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за частотою обертання виконавчого електродвигуна $k_n = 0,06$ відн. од.;
- коефіцієнт використання ходу регулятора при переході від нульової подачі палива до номінальної $k_{u.m} = 0,8$ відн. од.;
- коефіцієнт зворотного зв'язку $k_{f.b} = 0$ відн. од.

Дослідження впливу параметрів електронного РЧО на значення мінімуму цільової функції виконано по черговим варіюванням кожного з обраних налаштувань окремо ($\varepsilon = 0 \dots 0,08$ відн. од.; $k_p = 0,1 \dots 5$ відн. од.; $T_i = 0,5 \dots 8$ с) пошуковими методами пакету комп'ютерної математики (градієнтним – Gradient descent, симплексним – Simplex search, методом Гука-Дживса – Pattern search). Вбудовані процедури оптимізації для завершення ітераційного процесу мінімізації цільової функції за замовчуванням використовують значення величини кроку. При цьому час моделювання обрано рівним подвійному періоду хитавиці, що виключив вплив тривалості перехідного процесу на точність визначення критерію оптимальності.

На рис. 1 зображений, як приклад, результат пошуку мінімуму критерію оптимальності при оптимізації відносної ширини зони нечутливості регулятора градієнтним методом.

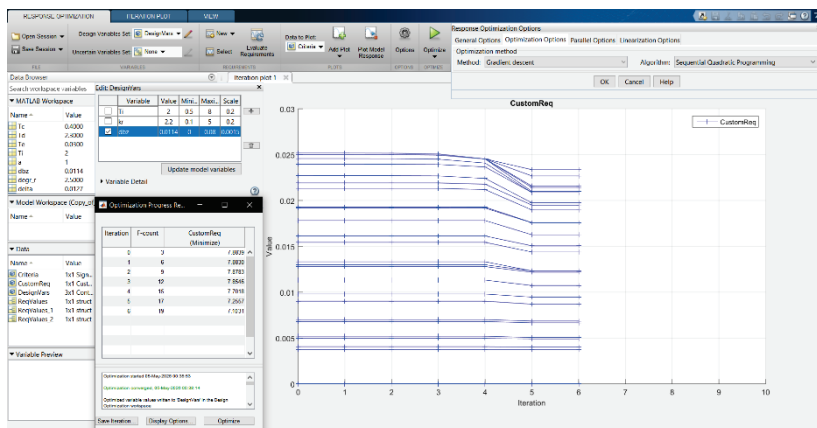


Рис. 1. Результат оптимізації відносної ширини зони нечутливості РЧО градієнтним методом

На рис. 1 видно, що процедура оптимізації градієнтним методом, яка за замовчуванням для оптимізації відгуку використовує алгоритм послідовного квадратичного програмування у функції `fmincon` (із урахуванням заданих обмежень), може виявитися недостатньо ефективним у виборі нового напрямку руху пошуку екстремуму. Це пояснюється тим, що для складних цільових функцій, функціональні поверхні яких мають множину локальних мінімумів, вибір точки

мінімуму на попередній ітерації як початкової для пошуку наступного мінімального значення, може не забезпечити високої ймовірності знаходження глобального мінімуму.

На рис. 2 зображений, як приклад, результат пошуку мінімуму критерію оптимальності при оптимізації коефіцієнта підсилення пропорційної ланки регулятора симплексним методом.

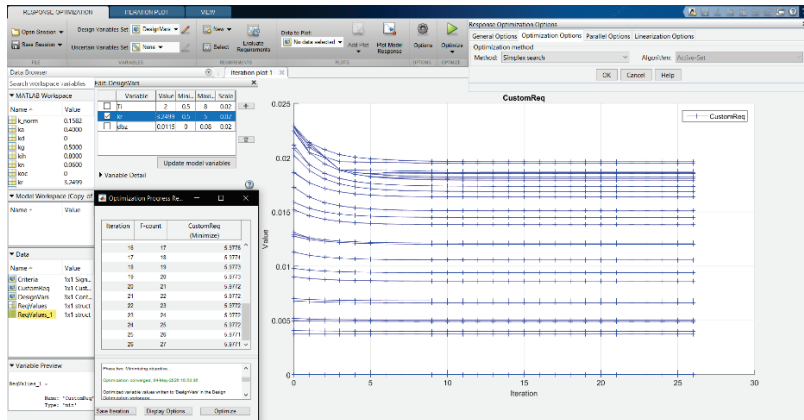


Рис. 2. Результат оптимізації коефіцієнта підсилення пропорційної ланки РЧО симплексним методом

На рис. 2 видно, що симплексний метод пошуку для оптимізації відгуку, який використовує функцію `fminsearch`, може виявлятися ефективним для моделей, які містять нелінійності, проте метод є недостатньо адаптованим до ситуацій з обмеженнями на параметри оптимізації.

На рис. 3 зображений, як приклад, результат пошуку мінімуму критерію оптимальності при оптимізації часу інтегруючої ланки регулятора методом Гаука-Дживса.

На рис. 3 видно, що метод Гаука-Дживса, який використовує функцію `patternsearch`, реалізує розширений метод глобального пошуку для оптимізації відгуку, що потребує значної кількості ітерацій. Це пов'язано з різною величиною кроків приростів за різними аргументами цільової функції, оскільки допустимі діапазони зміни кожного оптимізованого параметра можуть відрізнятися один від одного на порядки.

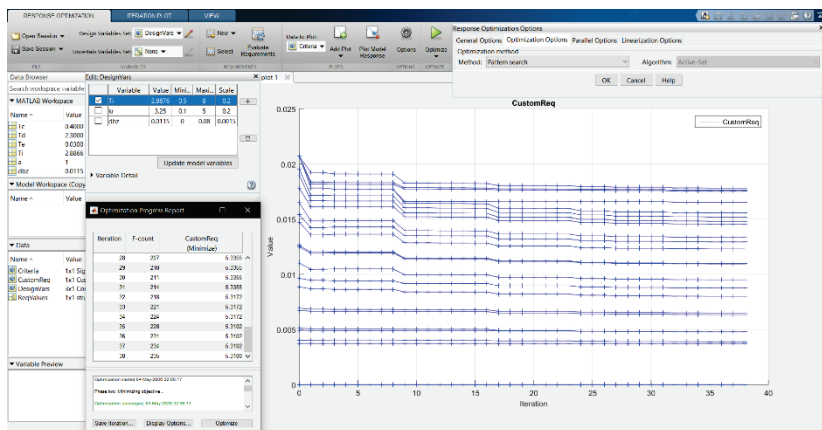


Рис. 3. Результат оптимізації часу інтегруючої ланки РЧО методом Гаука-Дживса

Результати оптимізації при варіюванні параметрів відносної ширини зони нечутливості ε , відн. од., коефіцієнта підсилення пропорційної ланки k_p , відн. од., та часу інтегруючої ланки T_i , с, електронного РЧО зведені у табл. 1.

Таблиця 1

Результати почергової оптимізації кожного з обраних налаштувань РЧО

Спеціалізований метод пошуку	Оптимізовані значення параметрів	Значення критерію оптимальності $\Delta\bar{\omega}_d \cdot 10^{-2}$
Гradientний	$\varepsilon = 0,0114$	2,394
	$k_p = 3,25$	1,977
	$T_i = 2,88$	1,816
Симплексний	$\varepsilon = 0,0115$	2,392
	$k_p = 3,249$	1,975
	$T_i = 2,879$	1,815
Гаука-Дживса	$\varepsilon = 0,0115$	2,392
	$k_p = 3,25$	1,975
	$T_i = 2,8876$	1,809

У результаті почергової оптимізації параметрів РЧО спеціалізованими методами встановлено, що визначальний вплив на глибину мінімуму критерію оптимальності чинить коефіцієнт підсилення пропорційної ланки, знаходження якого графічно виглядає як поступовий вихід на плато. Суттєвий вплив спостерігається також з боку часу інтегруючої ланки та менш виражений з боку відносної ширини зони нечутливості, проте їхні значення мають при графічному представленні вигляд чітко виражених мінімумів.

Перевірку зміни положення екстремуму при знайдених оптимумах параметрів налаштування виконано для випадків попарної оптимізації параметрів: ε та k_p ; T_i та ε ; k_p та T_i .

На рис. 4 зображений, як приклад, процес оптимізації симплексним методом за коефіцієнтом підсилення пропорційної ланки та часом інтегруючої ланки електронного регулятора одночасно.

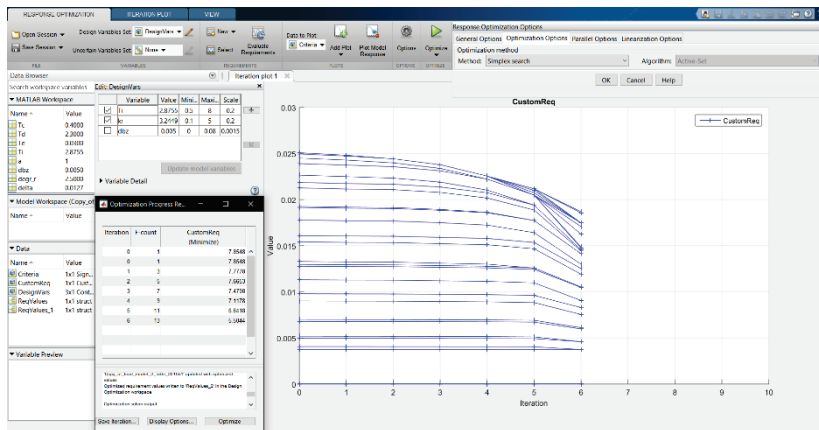


Рис. 4. Результат попарної оптимізації коефіцієнта підсилення пропорційної ланки та часу інтегруючої ланки РЧО симплексним методом

Із рис. 4 випливає, що під час застосування симплексного методу може виникати потреба в обмеженні кількості ітерацій через те, що задані граничні значення параметрів можуть ігноруватися в процесі пошуку оптимуму.

Результати попарної оптимізації параметрів електронного РЧО спеціалізованими методами пошуку екстремуму зведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати попарної оптимізації обраних налаштувань
електронного РЧО

Спеціалізований метод пошуку	Оптимізовані значення параметрів	Значення критерію оптимальності $\Delta\bar{\omega}_d \cdot 10^{-2}$
Гradientний	$\varepsilon = 0,008; k_p = 3,225$	2,042
	$T_i = 2,841; \varepsilon = 0,0091$	2,063
	$k_p = 3,25; T_i = 2,854$	1,875
Симплексний	$\varepsilon = 0,0112; k_p = 3,2571$	1,959
	$T_i = 2,8499; \varepsilon = 0,0109$	1,989
	$k_p = 3,2449; T_i = 2,8755$	1,867
Гука-Дживса	$\varepsilon = 0,0111; k_p = 3,2566$	1,954
	$T_i = 2,848; \varepsilon = 0,011$	1,987
	$k_p = 3,242; T_i = 2,875$	1,868

Перевірка знайдених оптимумів у випадках попарної оптимізації цільової функції спеціалізованими методами показала, що положення екстремуму може змінюватися:

під час оптимізації відносної ширини зони нечутливості електронного РЧО разом із коефіцієнтом підсилення пропорційної ланки або з часом інтегруючої ланки спостерігається певне поглиблення екстремуму;

при одночасній оптимізації коефіцієнта підсилення пропорційної ланки та часу інтегруючої ланки відбувається незначне зміщення екстремуму в просторі параметрів.

Визначено, що зміна значень одного з параметрів k_p або T_i зумовлює також зміну значення відносної ширини зони нечутливості регулятора.

На рис. 5 зображений, як приклад, процес оптимізації базових значень параметрів РЧО градієнтним методом за трьома обраними налаштуваннями одночасно.

На рис. 5 видно процес пошуку оптимуму цільової функції градієнтним методом, однак, глобальний мінімум було знайдено лише після повторного пошуку екстремуму з точки локального екстремуму.

Результати багатопараметричної оптимізації електронного РЧО спеціалізованими методами пошуку екстремуму зведені у табл. 3.

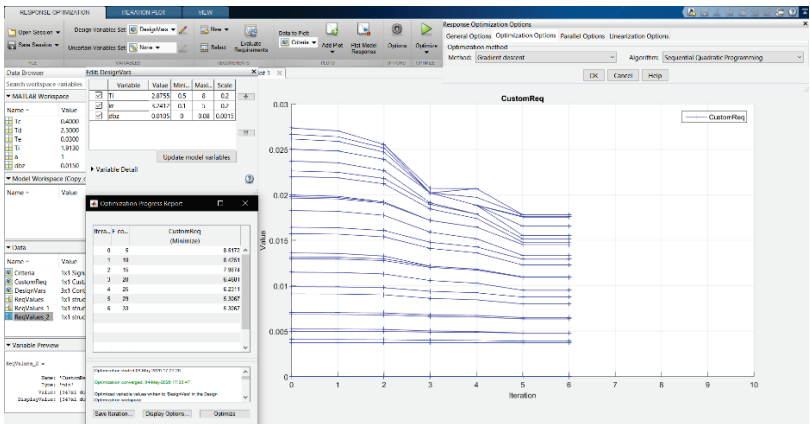


Рис. 5. Процес багатопараметричної оптимізації параметрів налаштування електронного РЧО градієнтним методом

Таблиця 3
Результати багатопараметричної оптимізації обраних налаштувань електронного РЧО

Спеціалізований метод пошуку	Оптимізовані значення параметрів	Значення критерію оптимальності $\Delta\bar{\omega}_d \cdot 10^{-2}$
Гرادієнтний	$\varepsilon = 0,0105$; $k_p = 3,2412$; $T_i = 2,8755$	1,819
Симплексний	$\varepsilon = 0,0113$; $k_p = 3,2518$; $T_i = 2,883$	1,804
Гука-Дживса	$\varepsilon = 0,0114$; $k_p = 3,2529$; $T_i = 2,875$	1,803

Таким чином, градієнтний метод має високу швидкість збіжності, але може не забезпечити пошук глобального мінімуму, зокрема, через наявність нелінійностей (нечутливості, насичення, запізнення тощо) та збіжність до локально неоптимальних розв’язків. Це означає, що у разі його використання може знадобитися або попереднє звуження області допустимих значень оптимізаційних параметрів, або у деяких випадках повторного пошуку екстремуму з точки локального мінімуму.

Симплексний метод забезпечив достатньо точний пошук області глобального оптимуму та продемонстрував ефективність при

оптимізації параметрів електронного регулятора у складі системи автоматичного регулювання з вираженими нелінійностями. Водночас при його застосуванні можливий вихід за межі заданих обмежень, що потребує контролю граничних умов, зокрема, обмеженням кількості ітерацій.

Безградієнтний метод Гаука-Дживса дозволив отримати найточніший результат оптимізації та продемонстрував послідовне наближення до глобального оптимального розв'язку, незважаючи на локальні особливості цільової функції. Метод виявив високу стійкість до впливу нелінійностей системи автоматичного регулювання, однак характеризувався найтривалішим процесом збіжності і, відповідно, підвищеними обчислювальними витратами.

На рис. 6 наведена перевірка знайденого оптимуму методом Гаука-Дживса за трьома обраними параметрами електронного РЧО одночасно при використанні оптимізованих значень налаштування.

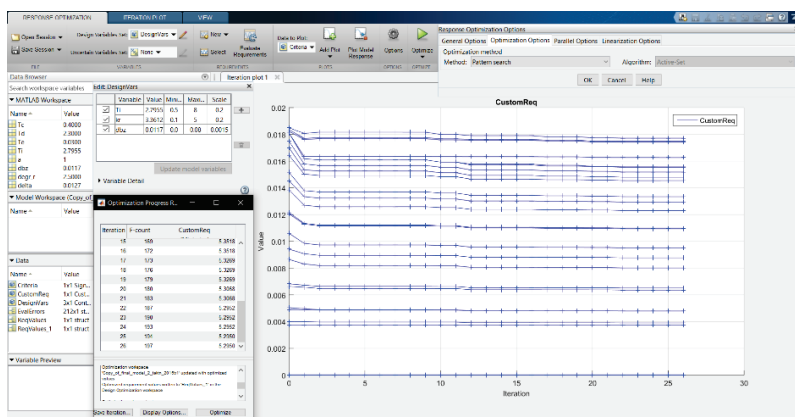


Рис. 6. Перевірка знайденого оптимуму методом Гаука-Дживса

Із рис. 6 випливає, що мінімум критерію оптимальності при перевірці методом Гаука-Дживса поглибився на $0,035 \cdot 10^{-2}$ при незначному зміщенні екстремуму в просторі параметрів $\varepsilon = 0,0117$; $k_p = 3,3612$; $T_i = 2,7955$.

У результаті дослідження також встановлено:

у разі звуження області значень оптимізаційних параметрів (наприклад, при їхньому попередньому ручному опрацюванні) при використанні спеціалізованих методів пошуку екстремуму ймовірність

зупинки процедури оптимізації через "зустрінутий" у факторному просторі локальний екстремум знижується приблизно до 70 %;

залежність цільової функції від параметрів оптимізації регулятора має негладкий характер, що на окремих кроках оптимізаційної процедури призводить до прийняття не найкращих рішень щодо переміщення у факторному просторі та підвищує ймовірність помилкового віддалення від точки глобального екстремуму;

при використанні спеціалізованих методів пошуку екстремуму в задачі оптимізації налаштування електронного РЧО суднового ГД часто спостерігається зміна положення екстремуму або збіжність до локальних екстремумів критерію оптимальності, яка зумовлена, зокрема, вибором кроку пошуку (у тому числі при його автоматичному визначенні).

При зміні параметрів електронного РЧО контролерного типу залежно від режиму роботи ГД імовірність виникнення локальних екстремумів критерію оптимальності в факторному просторі збурень на дизель, характерних для реальної експлуатації морських суден (стохастичному збуренні), може збільшитися, що потребує додаткової перевірки.

Висловлюємо вдячність М. В. Левінському за змістовне обговорення процедури оптимізації із використанням користувацьких вимог [12] та надані рекомендації.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. Горб С. И., Бурденко А. Ф. Метод оптимизации гидромеханических регуляторов частоты вращения главных двигателей. // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 1999. – Вып. 4. – Одесса: ОГМА. – С. 52 – 57.
2. Горб С. И. Моделирование судовых энергетических установок и систем управления: Учебное пособие. – М.: Мортехинформреклама, 1993. – 68 с.
3. Банди Б. Методы оптимизации: Вводный курс. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
4. Горб С. И., Бурденко А. Ф. Усовершенствованный метод оптимизации гидромеханических регуляторов частоты вращения главных двигателей. // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2000. – Вып. 5. – Одесса: ОГМА. – С. 28 – 32.

5. Горб С. И., Бурденко А. Ф. Оптимизация сложного объекта методом случайного поиска экстремума. // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2001. – Вып. 6. – Одесса: ОГМА. – С. 18 – 23.

6. Горб С. И., Будуров Н. И. Оптимизация автоматического регулирования частоты вращения судового дизеля. // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2021. – Вып. 27. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 3 – 21.

7. Будуров М. І. Оптимізація електронного регулятора частоти обертання судового дизеля. Дисертація ... доктора філософії. – Одеса: НУОМА. – 2025. – 182 с. № 0825U004364

8. Залитис В. А. Исследование процессов регулирования нагрузки пропульсивного комплекса дизель – ВРШ в условиях волнения. // Тр. ЦНИИМФ. – 1980. – Вып. 259. – С. 65 – 75.

9. Budurov M., Gorb S., Popovskii A. Optimization of electronic speed governors sensitivity for marine diesel engines. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2025. – Vol. 2. – № 8 (134). – P. 26 – 35.

10. Shop test result for main engine HYUNDAI-MAN B&W 6S60MC-C7. – 2011. – № K630-IR11A-5984. – 18 p.

11. Tenkey data list for MG-800 Electronic governor system of Nabtesco Corporation. – 2011. – № 74H63927-82B. – 16 p.

12. Optimisation in MatLab Simulink using custom requirement. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=EfldQ8YopgI> (дата звернення: 04.05.2026).

Abstract. The study focuses on the problem of tuning electronic speed governors for marine diesel engines operating under sea-wave-induced dynamic modes, where pronounced nonlinearities and multiple local extrema of the optimality criterion significantly complicate the search for globally optimal settings. In such automatic speed control systems, nonlinear effects arise from internal signal limitations, deadband, delays, actuator dynamics, and the cyclic nature of the diesel working process, which often lead to convergence of optimization procedures to locally, rather than globally, optimal solutions. Under these conditions, the choice and configuration of extremum-search algorithms have a decisive influence on the quality of the obtained tuning parameters and on the stability of the controlled engine speed.

The aim of this work is to evaluate the effectiveness of specialized extremum-search methods for optimizing the tuning parameters of the

Nabtesco MG-800 electronic speed governor of the main marine diesel engine MAN B&W 6S60MC-C7 under sea-wave conditions. Using a mathematical model of the automatic speed control system, the influence of the relative width of the deadband, proportional gain, and integrator time on the minimum of the engine-speed instability criterion was investigated by means of gradient, simplex, and Hooke–Jeeves pattern-search methods implemented in a computer mathematics package. It is shown that the gradient method provides a high convergence rate but can fail to locate the global minimum due to the presence of nonlinearities and convergence to local extrema, which may require narrowing the admissible parameter ranges or restarting the search from the previously found local optimum. The simplex method more reliably identifies the region of the global optimum and demonstrates good performance in systems with pronounced nonlinearities, although it may violate specified parameter bounds and therefore requires careful control of boundary conditions and limitation of the number of iterations. The derivative-free Hooke–Jeeves method ensures the deepest minimization of the optimality criterion and exhibits high robustness to nonlinearities, at the expense of a larger number of iterations and increased computational effort. The influence of the search step and admissible parameter ranges on the probability of convergence to local extrema has been clarified, and practical recommendations have been formulated for the sequential, pairwise, and multi-parameter optimization of electronic speed governor tuning parameters for marine diesel engines using built-in extremum-search procedures of a computer mathematics package.