

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-211-217](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-211-217)  
УДК 004.02

**Р.В. Петросян, ст. викл.**

**А.Р. Петросян, аспірант**

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **Метод оптимізації характеристик КІХ-фільтра з використанням алгоритму імітації поведінки китів**

*(Представлено: доктор філософії Граф М.С.)*

У статті розглядається аналіз алгоритму імітації поведінки китів з метою його застосування для оптимізації коефіцієнтів цифрових фільтрів з лінійною фазою. Цифрові фільтри відіграють важливу роль в обробці сигналів, які використовуються в багатьох задачах: системах керування та вимірювання, системах обробки аудіо та відео, в задачах зниження шуму тощо. КІХ-фільтри переважають у розв'язанні деяких задач, тому що мають такі плюси: групова затримка фільтра постійна; КІХ-фільтри завжди стійкі. Нині широкого розповсюдження набули алгоритми, засновані на ройовому інтелекті. Ці алгоритми в теорії штучного інтелекту розглядаються як методи оптимізації. Проведено аналіз існуючих методів розв'язання задач. Відносно недавно з'явився алгоритм імітації поведінки китів. Цей алгоритм має переваги порівняно з іншими алгоритмами: не потребує інформації про градієнт; може оминати локальні оптимуми; може бути використаний в широкому спектрі задач. На основі такого алгоритму розроблено метод оптимізації характеристик КІХ-фільтрів. Як фітнес-функція використовується середньоквадратичне відхилення між амплітудно-частотною характеристикою прототипу та амплітудно-частотною характеристикою КІХ-фільтра, що проектується. Моделювання проводилося на прикладі КІХ-фільтра першого типу 24 порядку з використанням мови програмування Python. Результати моделювання показали ефективність застосування цього алгоритму для синтезу КІХ-фільтрів. Такий метод може з успіхом використовуватися під час проектування КІХ-фільтрів з лінійною фазою при створенні різних технічних засобів. Однак варто врахувати, що ефективність алгоритму імітації поведінки китів нижча, ніж генетичного алгоритму, майже на порядок за часом. Також до недоліків варто зарахувати необхідність встановлювати межі простору пошуку.

**Ключові слова:** *WOA; алгоритм імітації поведінки китів; КІХ-фільтр; АЧХ; оптимізація; середньоквадратичне відхилення.*

**Актуальність теми.** Цифрова обробка сигналів використовується скрізь, де необхідно виконувати такі завдання, як фільтрування, стиснення, відновлення, керування, вимірювання сигналу, що надходить від джерела сигналу. Цифрові фільтри є важливим інструментом обробки сигналів і знаходять широке застосування в різних сферах: в енергетиці для виділення симетричних складових у трифазній мережі [1], фільтрації механічних вібрацій у безпілотних повітряних суднах [2], видалення шуму в акустичних системах [3] тощо. Одним із типів цифрових фільтрів (ЦФ) є нерекурсивні ЦФ (фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою, або скорочено – КІХ-фільтри), які мають низку переваг перед іншими типами фільтрів, наприклад, можна забезпечити лінійну фазочастотну характеристику.

Хоча багато методів проектування цифрових фільтрів розроблено в 60-70-х роках, але інтерес до їх проектування не спадає. Нині широкого розповсюдження набули алгоритми, засновані на ройовому інтелекті. Ці алгоритми в теорії штучного інтелекту розглядаються як методи оптимізації. Один із таких алгоритмів – імітація поведінки китів [4, 5].

Проектування фільтрів містить одночасно оптимізацію як коефіцієнтів фільтра, так і врахування ефектів квантування, що можна виконати з використанням алгоритму імітації поведінки китів. Також необхідно зазначити, що підвищення точності апроксимації фільтра в смузі пропускання та ослаблення призводить до збільшення перехідної смуги і навпаки, тому під час розв'язання багатьох задач необхідний компроміс. Його можна забезпечити застосуванням багатокритеріальної оптимізації на базі алгоритму імітації поведінки китів. З огляду на викладене вище, проектування КІХ-фільтрів з використанням алгоритму імітації поведінки китів є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** У науковій літературі досить докладно проаналізовано цифрові фільтри та методи їх проектування [6, 7]. Найбільш широко використовуються класичні методи розрахунку КІХ-фільтрів: метод зважування; метод частотної вибірки; метод найменших квадратів, метод найкращої рівномірної апроксимації. Перші два не є оптимізаційними методами, але досить прості у використанні. Третій метод потребує використання чисельних методів, і відповідно точність обчислення буде залежати від використаних методів. Четвертий

метод дає змогу отримати найкращі результати. Одним із найефективніших ітераційних методів визначення найкращої рівномірної апроксимації є алгоритм Ремеза (модифікований алгоритм Ремеза).

Можна зазначити, що алгоритми, які дозволяють отримати оптимальне розв'язання, потребують тривалого часу. Використання сучасних метаевристичних алгоритмів оптимізації дозволяє отримати деякі переваги: у деяких випадках підвищити ефективність пошуку оптимального рішення; виконати багатокритеріальну оптимізацію. Їх можна розділити на чотири основні групи: еволюційні алгоритми, алгоритми ройового інтелекту, алгоритми імітації фізичного процесу та алгоритм на основі поведінки людини [4, 8].

Еволюційні алгоритми базуються на законах природної еволюції. Процес пошуку починається з випадково згенерованої популяції, яка розвивається протягом декількох поколінь. Найкращі особи формують наступне покоління. Цей процес здійснюватиметься протягом кількох поколінь. До цієї групи зараховується генетичний алгоритм, який має низку переваг перед іншими оптимізаційними алгоритмами: належить до глобальних методів оптимізації; є паралельно масштабованим; може використовуватися для багатокритеріальної оптимізації тощо. У [9, 10] генетичний алгоритм використовується для отримання оптимальних коефіцієнтів КІХ-фільтрів для різних структур. Від того, яка структура КІХ-фільтра була обрана під час проєкування, залежить чутливість амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) до похибок коефіцієнтів ЦФ. У [11] генетичний алгоритм застосовується для визначення найкращих значень параметрів ПД-регулятора, а в [12] оптимізується модель ПД-регулятора за допомогою генетичного алгоритму.

Метаевристичні алгоритми ройового інтелекту базуються на соціальній поведінці груп тварин: мурах, бджіл, птахів тощо. Найпопулярнішим алгоритмом є оптимізація рою часток (ОРЧ). Алгоритм ОРЧ та дві його модифікації використовуються у [13] для оптимізації коефіцієнтів КІХ-фільтра.

Метаевристичні алгоритми імітації фізичного процесу базуються на фізичних законах природи. Один із найпопулярніших алгоритмів – це алгоритм імітації відпалу. У [14] запропоновано для оптимізації коефіцієнтів КІХ-фільтра використати саме цей алгоритм. За словами авторів роботи, за допомогою вказаного алгоритму можна досягти кращих результатів, ніж за допомогою інших існуючих алгоритмів.

Алгоритм на основі поведінки людини – це новий метаевристичний метод оптимізації, який використовує поведінку людини як основне джерело натхнення [15, 16]. Оскільки насправді кожна людина знаходить свій успіх певним шляхом, тому у цьому алгоритмі після генерації первинних осіб вони поширюються в різних сферах діяльності. У кожній сфері особи намагаються вдосконалюватися за допомогою освітнього процесу. Оскільки в реальному суспільстві переконання деяких людей можуть змінюватися, то в алгоритмі передбачена певна ймовірність зміни сфери діяльності. За цим принципом в алгоритмі організовано оптимізацію.

**Метою статті** є аналіз метаевристичного алгоритму імітації поведінки китів з подальшим його застосуванням для оптимізації коефіцієнтів КІХ-фільтрів.

**Викладення основного матеріалу.** КІХ-фільтр належить до класу лінійних дискретних систем. Взаємозв'язок між вхідним  $x(n)$  та вихідним  $y(n)$  цифровими сигналами визначається таким різницеvim рівнянням (1):

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i \cdot x(n - i), \quad (1)$$

де  $x(n)$ ,  $y(n)$  – вхідна і вихідна послідовності даних відповідно;  $b_i$  – коефіцієнти КІХ-фільтра.

Структуру цифрового КІХ-фільтра відповідно до виразу (1) показано на рисунку 1.

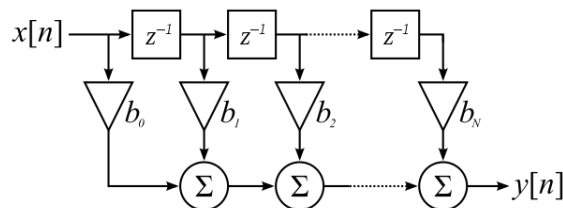


Рис. 1. Пряма форма реалізації КІХ-фільтра

Синтезувати КІХ-фільтр будемо в частотній області, тому для синтезу необхідно знати його АЧХ, яка у загальному випадку матиме вигляд (2):

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) \cdot e^{-j\omega n}, \quad (2)$$

де  $h(n)$  – кінцева імпульсна характеристики КІХ-фільтра,  $\omega$  – кругова частота.

Однак, як уже згадувалося, широке застосування знаходять КІХ-фільтри з лінійною фазою. Для цього необхідно, щоб імпульсна характеристика була симетричною або антисиметричною [6, 7]. У цьому разі можливі чотири типи КІХ-фільтрів (табл. 1).

Таблиця 1

Типи фільтрів із лінійною фазою

Тип фільтра	Імпульсна характеристика	Кількість коефіцієнтів імпульсної характеристики	Амплітудно-частотна характеристика
I	Симетрична	Непарна	$H(\omega) = \sum_{n=0}^{(N-1)/2} a(n) \cdot \cos(\omega n)$
II	Симетрична	Парна	$H(\omega) = \sum_{n=1}^{N/2} b(n) \cdot \cos(\omega(n - 1/2))$
III	Антисиметрична	Непарна	$H(\omega) = \sum_{n=1}^{(N-1)/2} c(n) \cdot \sin(\omega n)$
IV	Антисиметрична	Парна	$H(\omega) = \sum_{n=1}^{N/2} d(n) \cdot \sin(\omega(n - 1/2))$

Примітка: де  $a(0) = h(\frac{N-1}{2}), a(n) = 2h(\frac{N-1}{2} - n), c(0) = 0, c(n) = 2h(\frac{N-1}{2} - n), n = 1, 2, 3, \dots, \frac{N-1}{2},$   
 $b(n) = 2h(\frac{N}{2} - n), d(n) = 2h(\frac{N}{2} - n), n = 1, 2, 3, \dots, \frac{N}{2}.$

Проводити розрахунок коефіцієнтів КІХ-фільтра будемо відповідно до схеми, яка показана на рисунку 2:

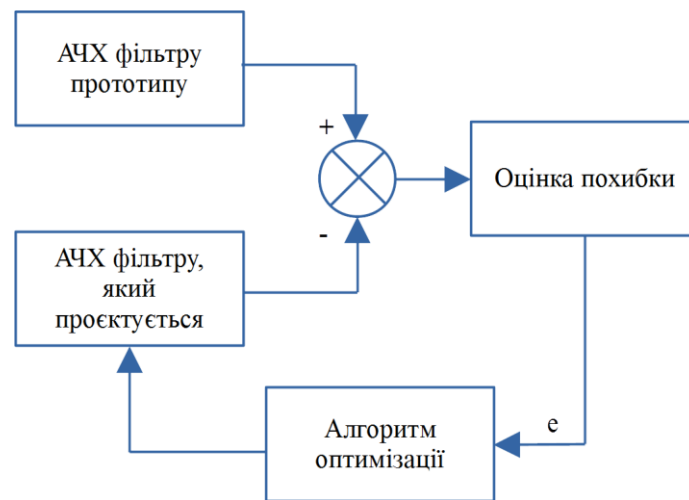


Рис. 2. Схема оптимізації АЧХ КІХ-фільтра

Для оптимізації коефіцієнтів фільтра необхідна функція пристосованості (fitness-функція). Як функцію пристосованості будемо використовувати середньоквадратичне відхилення між АЧХ фільтра прототипу та АЧХ фільтра, що проектується (3).

$$e = \sqrt{\int_0^\pi W(\omega)(H(\omega) - \hat{H}(\omega))^2 d\omega} \rightarrow \min, \tag{3}$$

де  $W(\omega)$  – вагова функція.

Для мінімізації похибки скористаємося алгоритмом імітації поведінки китів. Алгоритм, що імітує поведінку китів (анг. Whale Optimization Algorithm, WOA), – це нещодавно запропонований метаевристичний алгоритм оптимізації, який використовує механізм полювання горбатих китів (рис. 3). Алгоритм містить у собі три оператори: пошук здобичі (search for prey), оточення здобичі (encircling prey), атаку бульбашковою мережею (bubble-net attacking) [4, 5].

*Оператор оточення здобичі.* Горбаті кити (агенти) можуть розпізнавати місце розташування здобичі та оточувати її. Оскільки положення оптимального рішення в просторі пошуку невідоме, то алгоритм WOA припускає, що поточне найкраще рішення перебуває в околиці здобичі. Після визначення агента з найближчим місцем розташування до здобичі решта агентів намагатимуться оновити свої позиції в напрямку найкращого агента. Цю поведінку можна записати такими рівняннями (4–5):

$$\bar{D} = |\bar{C}\bar{X}^*(t) - \bar{X}(t)|, \quad (4)$$

$$\bar{X}(t+1) = \bar{X}^*(t) - \bar{A}\bar{D}, \quad (5)$$

де  $\bar{A}$  і  $\bar{C}$  – вектори коефіцієнтів,  $\bar{X}^*(t)$  – вектор позиції найкращого агента (розв'язку), отриманого на даний момент,  $\bar{X}(t)$  – вектор позиції агента,  $\bar{D}$  – вектор відстаней.

Вектори  $\bar{A}$  і  $\bar{C}$  розраховуються таким чином:

$$\bar{A} = 2\bar{a}\bar{r}_1 - \bar{a}, \quad (6)$$

$$\bar{C} = 2\bar{r}_2, \quad (7)$$

де  $\bar{a}$  лінійно зменшуються від 2 до 0 під час кожної ітерації, а  $\bar{r}_1, \bar{r}_2$  є випадковими векторами зі значеннями в діапазоні [0, 1].



Рис. 3. Поведінка горбатих китів при атаці бульбашковою сіткою

*Оператор атаки бульбашковою мережею.* Для математичного моделювання поведінки бульбашкової мережі горбатого кита використовуються такі два підходи:

1. Механізм стиснення (така поведінка досягається за рахунок зменшення значення  $\bar{a}$ );
2. Оновлення положення по спіралі.

Математично описується це таким рівнянням (8):

$$\bar{X}(t+1) = \begin{cases} \bar{X}^*(t) - \bar{A}\bar{D}, & \text{якщо } p < 0,5 \\ \bar{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \bar{X}^*(t), & \text{якщо } p \geq 0,5 \end{cases} \quad (8)$$

де  $\bar{D} = |\bar{X}^*(t) - \bar{X}(t)|$ ,  $b$  – константа, яка задає форму спіралі,  $l$  – випадкове значення в діапазоні [-1, 1],  $p$  – випадкове значення в діапазоні [0,1].

*Оператор пошуку здобичі.* Агенти шукають здобич випадковим чином, орієнтуючись на положення один одного. Оператор пошуку здобичі подібний до оператора оточення здобичі, проте використовує не найкращого агента, а випадково обраного. Такий підхід і використання випадкового  $|A| > 1$  дозволяють алгоритму WOA здійснювати глобальний пошук. Математично це можна записати таким чином (9–10):

$$\bar{D} = |\bar{C}\bar{X}_{rand}(t) - \bar{X}(t)|, \quad (9)$$

$$\bar{X}(t+1) = \bar{X}_{rand}(t) - \bar{A}\bar{D}. \quad (10)$$

З огляду на все сказане вище, метод оптимізації характеристик КІХ-фільтра може бути описаний таким алгоритмом:

1. Створити популяцію китів / агентів  $X_i$ ;
2. Для кожного пошукового агента розрахувати АЧХ КІХ-фільтра;
3. Розрахувати похибку для кожного КІХ-фільтра;
4. Обрати агента  $X^*$  з найменшою помилкою (найкраще рішення);
5. Почати цикл для заданої кількості ітерацій;
6. Почати цикл для обробки кожного агента;
7. Оновити значення  $a, r_1, r_2, A, C, l, p$ ;
8. Якщо  $p < 0,5$  та  $|A| \geq 1$ , тоді виконати оператор пошуку здобичі;
9. Якщо  $p < 0,5$  та  $|A| < 1$ , тоді виконати оператор оточення здобичі;
10. Якщо  $p > 0,5$ , тоді виконати оператор атаки бульбашковою мережею;
11. Якщо не обробили всіх агентів, то повернутися до пункту 7;
12. Для кожного пошукового агента розрахувати АЧХ КІХ-фільтра;
13. Розрахувати похибку для кожного КІХ-фільтра;
14. Обрати агента  $X^*$  з найменшою помилкою (найкраще рішення);
15. Оброблено всі ітерації, якщо ні, то повернутися до пункту 6;

16. Повернути агента  $X^*$  з найменшою помилкою.

Моделювання здійснюватимемо для фільтра першого типу (табл. 1). АЧХ фільтра прототипу матиме вигляд, представлений на рисунку 4.

Для виконання алгоритму імітації поведінки китів необхідно налаштувати гіперпараметри. У нашому випадку вони матимуть такий вигляд:

```
ORDER = 24           # порядок фільтра
POPULATION_SIZE = 2500 # кількість агентів
MAX_ITER = 100      # максимальна кількість ітерацій
x_lb = -1           # нижня границя пошуку
x_ub = 1           # верхня границя пошуку
```

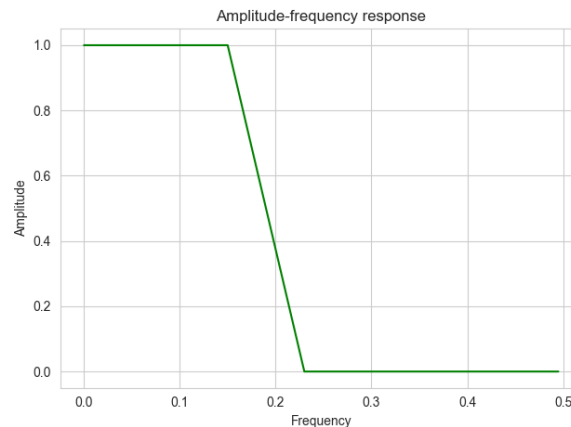


Рис. 4. АЧХ фільтра прототипу

Результати моделювання наведено на рисунку 5.

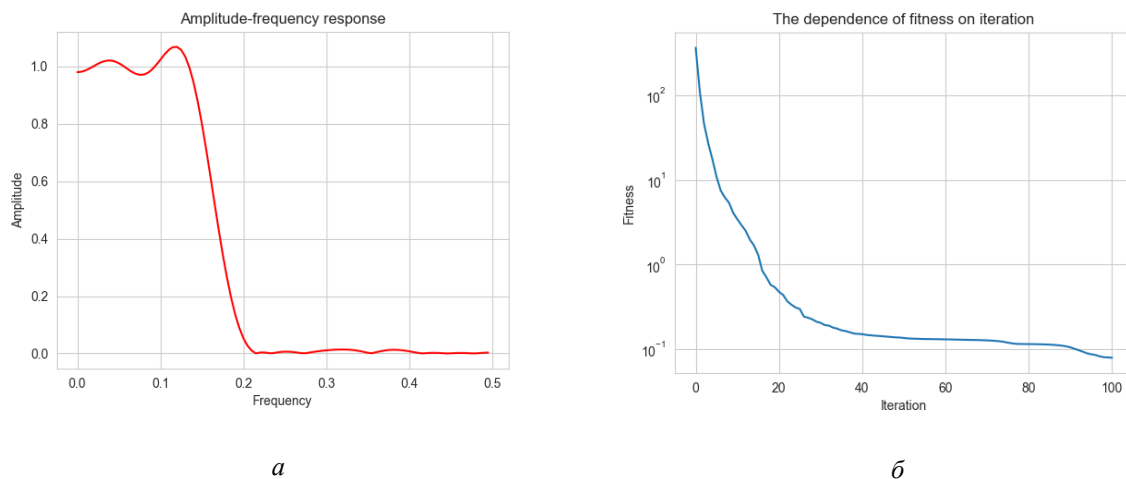


Рис. 5. Результати проектування КІХ-фільтра 24 порядку (WOA): а) АЧХ; б) залежність функції пристосованості від ітерації

Коефіцієнти розробленого фільтра мають такі значення:  $h_0 = -0,005954225821311511$ ,  $h_1 = -0,011474631145727375$ ,  $h_2 = -0,012720267262762857$ ,  $h_3 = 0,0015496009905197402$ ,  $h_4 = 0,026666257694285794$ ,  $h_5 = 0,02951413620951485$ ,  $h_6 = 0,0006603646457906663$ ,  $h_7 = -0,04591520844360327$ ,  $h_8 = -0,06591009938940373$ ,  $h_9 = -0,004432528961123103$ ,  $h_{10} = 0,1337634354319929$ ,  $h_{11} = 0,27653795024248323$ ,  $h_{12} = 0,33768286425685207$ ,  $h_{13} = 0,27653795024248323$ ,  $h_{14} = 0,1337634354319929$ ,  $h_{15} = -0,004432528961123103$ ,  $h_{16} = -0,06591009938940373$ ,  $h_{17} = -0,04591520844360327$ ,  $h_{18} = -0,0006603646457906663$ ,  $h_{19} = 0,02951413620951485$ ,  $h_{20} = 0,026666257694285794$ ,  $h_{21} = 0,0015496009905197402$ ,  $h_{22} = -0,012720267262762857$ ,  $h_{23} = -0,011474631145727375$ ,  $h_{24} = -0,005954225821311511$ .

Алгоритм WOA дає змогу розв'язувати поставлену задачу. Якщо порівняти результат із генетичним алгоритмом для розв'язання тієї самої задачі [9] (рис. 6), то можна дійти висновку, що за зівставних результатів цей алгоритм повільніший (WOA потребує розмір популяції на порядок більше).

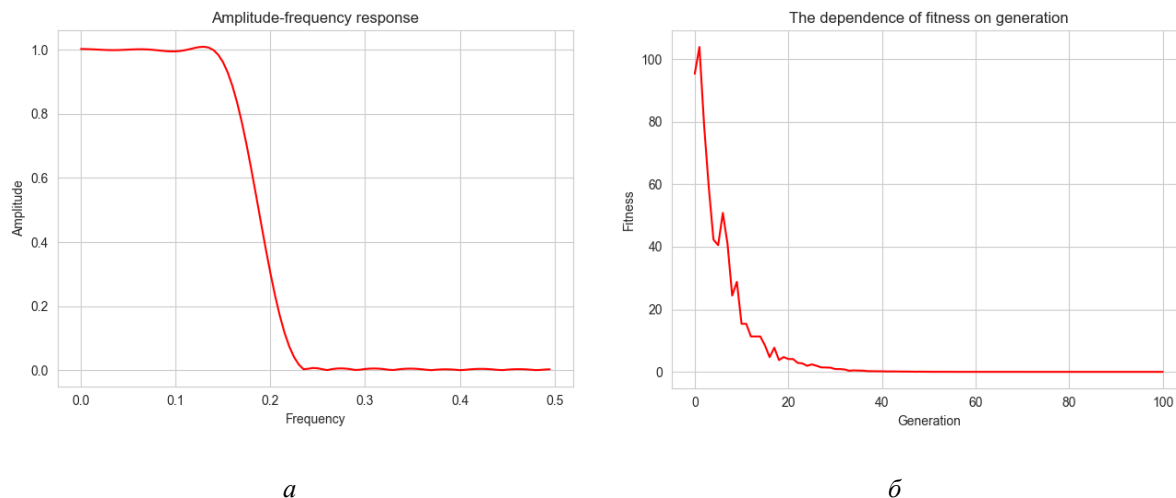


Рис. 5. Результати проектування КІХ-фільтра 24 порядку (GA): а) АЧХ; б) залежність функції пристосованості від популяції

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У роботі проведено аналіз алгоритму імітації поведінки китів з метою його застосування для оптимізації коефіцієнтів КІХ-фільтрів з лінійною фазою.

Для розв'язання задачі розроблено метод оптимізації характеристик КІХ-фільтрів на базі алгоритму імітації поведінки китів. Як fitness-функцію використано метод найменших квадратів для оптимізації коефіцієнтів КІХ-фільтра.

Для перевірки результату проведено моделювання, яке проводилося для КІХ-фільтра першого типу, 24 порядку на мові програмування Python. Результати моделювання показали можливість застосування цього алгоритму. Такий метод може з успіхом використовуватися під час проектування КІХ-фільтрів з лінійною фазою при створенні технічних засобів. Однак варто врахувати, що ефективність алгоритму WOA нижче, ніж генетичного алгоритму, майже на порядок за часом. Також до недоліків варто зарахувати необхідність встановлювати межі простору пошуку. Тому подальший аналіз передбачає дослідження алгоритму для підвищення його ефективності за часом.

#### References:

- Petrosian, R.V. (2017), «Syntez tsyfroyvkh filtriv symetrychnykh skladovykh na bazi nerekursyvnykh tsyfroyvkh filtriv z liniinoiu fazoiu», *Visnyk ZhDTU. Seriya. Tekhnichni nauky*, No. 2 (41), pp. 114–118, [Online], available at: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/93626/90686>
- Betaflight, «Betaflight 4.3 Tuning Notes», [Online], available at: <https://betaflight.com/docs/tuning/4.3-Tuning-Notes>
- Kavita, B. and Brijendra, M. (2023), «Remove Noise From Input Signal by Using IIR and Fir Filter Combined Circuit», *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, Vol. 3, pp. 199–203, doi: 10.48175/ijarsct-7866.
- Mirjalili, S. and Lewis, A. (2016), «The Whale Optimization Algorithm», *Advances in Engineering Software*, Vol. 95, pp. 51–67, doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.01.008.
- MathWorks, «The Whale Optimization Algorithm», [Online], available at: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/55667-the-whale-optimization-algorithm>
- Manolakis, D.G. and Proakis, J.G. (2014), *Digital signal processing*, New International Edition, Pearson Higher Ed.
- Gazi, O. (2018), *Understanding Digital Signal Processing*, Springer, Singapore, doi: 10.1007/978-981-10-4962-0.
- Almufti, S.M. et al. (2023), «Overview of Metaheuristic Algorithms», *Polaris Global Journal of Scholarly Research and Trends*, Vol. 2, No. 2, pp. 10–32, doi: 10.58429/pgjsrt.v2n2a144.
- Petrosian, R., Kuzmenko, O. and Petrosian, A. (2021), «Method for calculating the FIR filter based on genetic algorithm», *Computer Systems and Information Technologies*, Vol. 1, pp. 19–24, [Online], available at: <https://csitjournal.khmnu.edu.ua/index.php/csit/article/view/45/33>
- Petrosian, R., Chukhov, V. and Petrosian, A. (2021), «Development of a method for synthesis the FIR filters with a cascade structure based on genetic algorithm», *Technology audit and production reserves*, Vol. 4, No. 2 (60), pp. 6–11, doi: 10.15587/2706-5448.2021.237271.
- Ahmed, T. et al. (2020), «Genetic Algorithm Based PID Parameter Optimization», *American Journal of Intelligent Systems*, Vol. 10, No. 1, pp. 8–13, doi: 10.5923/j.ajis.20201001.02.
- Petrosian, A.R. et al. (2023), «Efficient model of PID controller of unmanned aerial vehicle», *Journal of Edge Computing*, doi: 10.55056/jec.593.

13. Ali, Z. et al. (2021), «Digital FIR Filter Design by PSO and its variants Attractive and Repulsive PSO (ARPSO) and Craziness based PSO (CRPSO)», *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Vol. 9, No. 6, pp. 136–141, doi: 10.35940/ijrte.f5515.039621.
14. Wu, C. et al. (2015), «Sparse FIR Filter Design Based on Simulated Annealing Algorithm», *Advances in Electrical and Computer Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 17–22, doi: 10.4316/aece.2015.01003.
15. Ahmadi, S.A. (2016), «Human behavior-based optimization: a novel metaheuristic approach to solve complex optimization problems», *Neural Computing and Applications*, Vol. 28, pp. 233–244, doi: 10.1007/s00521-016-2334-4.
16. MathWorks, «HBBO: Human Behavior-Based Optimization Algorithm», [Online], available at: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/93840-hbbo-human-behavior-based-optimization-algorithm>

**Петросян Руслан Валерікович** – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-0388-8821>.

Наукові інтереси:

- цифрова обробка;
- штучний інтелект;
- математичне моделювання;
- комп'ютерні системи спеціального призначення;
- вебтехнології.

**Петросян Арсен Русланович** – аспірант кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0003-0960-8461>.

Наукові інтереси:

- комп'ютерні науки;
- інтернет речей;
- безпілотні повітряні судна;
- вебпрограмування та вебтехнології;
- олімпіадне програмування.

**Petrosian R.V., Petrosian A.R.**

#### **Method for optimization of FIR filter characteristics using the whale optimization algorithm**

The article discusses the analysis of the whale optimization algorithm with the aim of applying it to optimize the coefficients of digital filters with linear phase. Digital filters play an important role in signal processing, which are used in many tasks: control and measurement systems, audio and video processing systems, noise reduction tasks, etc. FIR filters are more preferable for some tasks than others because they have the following advantages: the group delay of the filter is constant; FIR filters are always stable. Nowadays, algorithms based on swarm intelligence are widely used. In the theory of artificial intelligence, these algorithms are considered as optimization methods. The existing methods for solving the problem are analyzed. The whale optimization algorithm has appeared recently. This algorithm has advantages over other algorithms: it does not require information about the gradient; it can bypass local optima; it can be used in a wide range of problems. On the basis of this algorithm, a method for optimizing the characteristics of FIR filters has been developed. The root mean square deviation between the amplitude-frequency response of the prototype and the amplitude-frequency response of the FIR filter to be designed is used as a fitness function. The modeling was carried out on the example of a 24th-order FIR filter of the first type using the Python programming language. The simulation results showed the effectiveness of this algorithm for the synthesis of FIR filters. This method can be successfully used in the design of FIR filters with a linear phase in the creation of various technical means. However, it should be noted that the efficiency of the whale optimization algorithm is lower than the genetic algorithm by almost an order of magnitude in time. Also, the disadvantages include the need to set the boundaries of the search space.

**Keywords:** WOA; whale optimization algorithm, FIR filter; frequency response; optimization; root mean square deviation.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2024.