




RS Global
Journals

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773
Tel: +48 226 0 227 03
Email: editorial_office@rsglobal.pl

JOURNAL	International Academy Journal Web of Scholar
p-ISSN	2518-167X
e-ISSN	2518-1688
PUBLISHER	RS Global Sp. z O.O., Poland
ARTICLE TITLE	ABOUT FEATURES OF MUTATION APPLICATION IN A MODIFIED OPERATOR GENETIC ALGORITHM
AUTHOR(S)	Leonid Oliinyk, Stanislav Bazhan
ARTICLE INFO	Leonid Oliinyk, Stanislav Bazhan. (2020) About Features of Mutation Application in a Modified Operator Genetic Algorithm. International Academy Journal Web of Scholar. 8(50). doi: 10.31435/rsglobal_wos/30122020/7324
DOI	https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30122020/7324
RECEIVED	05 November 2020
ACCEPTED	18 December 2020
PUBLISHED	23 December 2020
LICENSE	 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License .

© The author(s) 2020. This publication is an open access article.

ABOUT FEATURES OF MUTATION APPLICATION IN A MODIFIED OPERATOR GENETIC ALGORITHM

Leonid Oliinyk, Candidate of Sciences, Ph.D in Physical and Mathematical Sciences,

Dniprovsk State Technical University, Kamyanske, Ukraine,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4392-0048>

Stanislav Bazhan, PHD student, Dniprovsk State Technical University, Kamyanske, Ukraine,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2228-9389>

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30122020/7324

ARTICLE INFO

Received: 05 November 2020

Accepted: 18 December 2020

Published: 23 December 2020

KEYWORDS

Genetic algorithm, mutation, matrices, crossover operators, mathematical modeling.

ABSTRACT

Genetic algorithm is a method of optimization based on the concepts of natural selection and genetics. Genetic algorithms are used in software development, in artificial intelligence systems, a wide range of optimization problems and in other fields of knowledge.

One of the important issues in the theory of genetic algorithms and their modified versions is the search for the best balance between performance and accuracy. The most difficult in this sense are problems where the fitness function in the search field has many local extremes and one global or several global extremes that coincide.

The effectiveness of the genetic algorithm depends on various factors, such as the successful creation of the primary population. Also in the theory of genetic algorithms, recombination methods play an important role to obtain a better population of offspring. The aim of this work is to study some types of mutations using a modified genetic algorithm to find the minimum function of one variable.

The article presents the results of research and analysis of the impact of some mutation procedures. Namely, the effect of mutation on the speed of achieving the solution of the problem of finding the global extremum of a function of one variable. For which a modified genetic algorithm is used, where the operators of the "generalized crossover" are stochastic matrices.

Citation: Leonid Oliinyk, Stanislav Bazhan. (2020) About Features of Mutation Application in a Modified Operator Genetic Algorithm. *International Academy Journal Web of Scholar*. 8(50). doi: 10.31435/rsglobal_wos/30122020/7324

Copyright: © 2020 Leonid Oliinyk, Stanislav Bazhan. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Вступ. Генетичні алгоритми виникли в результаті спостереження і спроб копіювання природних процесів, що відбуваються в світі живих організмів, зокрема, еволюції та пов'язаної з нею селекції (природного відбору) популяцій живих організмів. Генетичні алгоритми застосовуються при розробці програмного забезпечення, в системах штучного інтелекту, великого кола задач оптимізації та в інших галузях знань. У генетичних алгоритмах є різні переваги, які зробили їх досить популярними. Тому є актуальним дослідження теоретичних основ алгоритмів даного класу та аналіз їх застосувань.

Постановка проблеми.

Одним з важливих питань в теорії генетичних алгоритмів та їх модифікованих версій є пошук найкращого балансу між продуктивністю і точністю. Найбільш складними в цьому сенсі є задачі, де фітнес-функція в області пошуку має багато локальних екстремумів і один глобальний або декілька глобальних екстремумів, що співпадають.

Для запобігання появі «хибної екстремальної точки» важливу роль відіграє процедура мутації.

В роботі представлено результати дослідження та аналізу впливу деяких процедур мутації на швидкість досягнення розв'язку задачі пошуку глобального екстремуму функції однієї змінної при застосуванні модифікованого генетичного алгоритму, де операторами «узагальненого кросоверу» та «узагальненої мутації» є стохастичні матриці.

Модифікований генетичний алгоритм реалізовано у програмному модулі на мові C#, що дає змогу дослідити ефективність роботи запропонованого алгоритму на класі відомих тестових функцій, які використовуються при оцінці ефективності генетичних алгоритмів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Чи не головним питанням дослідження генетичних алгоритмів стало розуміння взаємної компліментарності тріади генетичних операторів «кросовер - мутація - інверсія». Такого висновку прийшов в 1997 Вороновский Г.К. [1]. Це питання актуальне і зараз, оскільки прогрес в розвитку генетичних алгоритмах не зупинився.

Мутація - генетична зміна, що приводить до якісно нового прояву основних властивостей генетичного матеріалу. Даний оператор необхідний для «вибивання» популяції з локального екстремуму і перешкоджання передчасної збіжності. Запобігання передчасної збіжності досягається за рахунок того, що змінюється випадково обраний ген у хромосомі [2].

Існує багато схем класифікації мутацій, їх можна розділити:

- 1) за способом виникнення: спонтанні мутації, індуковані мутації.
- 2) по адаптивному значенням виділяють мутації: позитивні, негативні, нейтральні;
- 3) зі зміни генотипу мутації бувають: генні (точкові), хромосомні, геномні;
- 4) по локалізації в клітині: ядерні, цитоплазматичні.

Таку класифікацію наводять Гладков та Курейчик [3].

Мета дослідження.

Ефективність генетичного алгоритму залежить від різних факторів, наприклад від вдалого створення первинної популяції. Також в теорії генетичних алгоритмів важливу роль відіграють методи рекомбінації для отримання кращої популяції нащадків. Метою даної роботи є дослідження деяких видів мутацій при застосуванні модифікованого генетичного алгоритму для знаходження мінімуму функції однієї змінної.

Опис.

В роботі [4] було запропоновано модифікований генетичний алгоритм пошуку глобального екстремуму. На основі матричного кросоверу побудовано і обґрунтовано збіжність послідовності наближених розв'язків задачі пошуку глобального екстремуму функції в заданій області пошуку.

В даній роботі пропонується модифікація мутації, яка базується на застосуванні стохастичних матриць вигляду $\begin{pmatrix} \frac{1}{2} + \alpha & \frac{1}{2} - \alpha \\ \frac{1}{2} - \beta & \frac{1}{2} + \beta \end{pmatrix}$. Ця матриця є узагальненим оператором

кросоверу при $\alpha, \beta < 0,5$ та оператором мутації при $\alpha, \beta > 0,5$. Необхідно відмітити, що при $\alpha, \beta > 0,5$, оператор, породжуваний вищенаведеною матрицею, є оператором розтягування відрізка з коефіцієнтом $\alpha + \beta$. У такому випадку цей оператор виконує дію подібну до мутації. Кінцеві точки розтягнутого відрізка являють собою нову батьківську пару хромосом, яку враховуємо при визначенні області пошуку на наступному ітераційному кроці роботи алгоритму. Оператори розтягування використовуються не на кожному кроці роботи алгоритму пошуку екстремуму. Ітераційний процес при цьому є збіжним, що забезпечується побудовою послідовності вкладених відрізків. Пару $\alpha, \beta > 0,5$ можна вважати параметрами керування процедурою мутації. Іншими словами, зміна цих величин призводить до різних варіантів покриття області пошуку, серед яких можна виділити оптимальний в сенсі найменшої кількості ітерацій, необхідних для досягнення заданої точності. Ефективність цієї процедури підтверджено при дослідженні відомих тестових функцій.

Аналіз отриманих результатів роботи програми.

За допомогою програми розробленої на алгоритмічній мові C# у програмному додатку Visual Studio було проведено порівняння ефективності роботи модифікованого генетичного алгоритму без застосування операторів мутації та із їх застосуванням.

Програмний модуль призначений для знаходження екстремумів функцій однієї змінної і дозволяє дослідити етапи роботи алгоритму з певним рівнем ілюстрації ітераційних кроків.

В даній програмі можна обрати одну з запропонованих функцій та виконати її дослідження [5].

Початкові дані для кожного пошуку екстремуму однакові, як з використанням мутації так і без.

1. Дослідження виконувалось для функції, яка має вигляд:

$$F(x) = -\left(\frac{1}{(x - 0.3)^2 + 0.01} + \frac{1}{(x - 0.9)^2 + 0.04} + 6\right)$$

Відомо, що для цієї функції глобальні екстремум знаходиться у точці $x = 0,3$ $F(x) = -96,5$, крім того, функція має локальний екстремум, (Рис. 1).

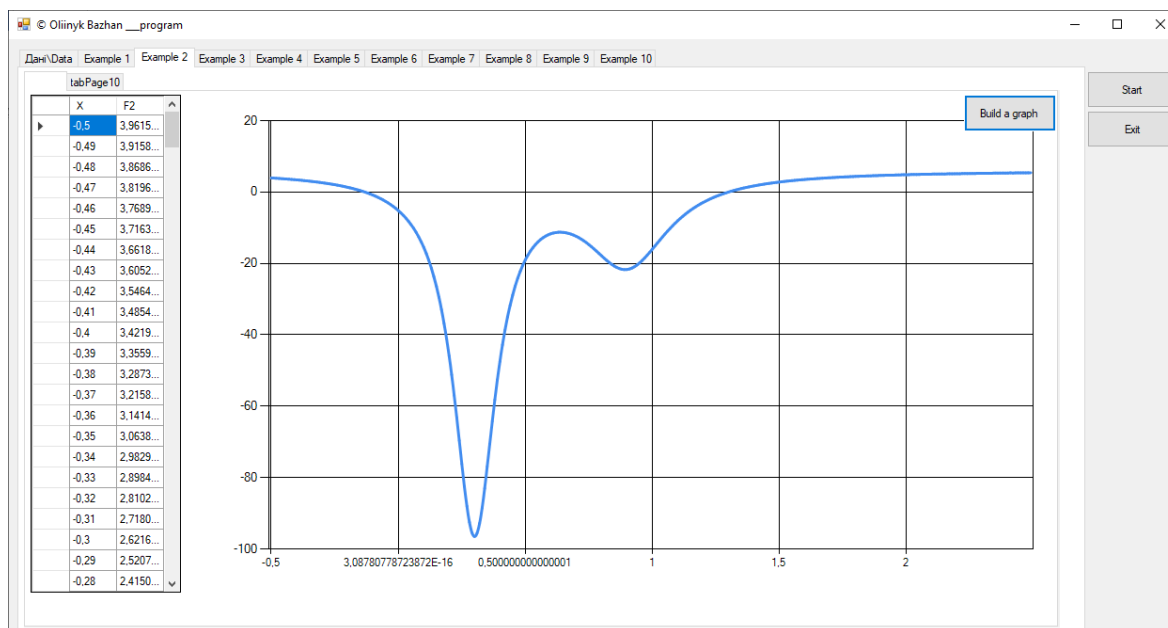


Рис.1 Графік функції, яка була обрана для дослідження відображений в розробленому програмному додатку.

В результаті проведених 30 випробувань отримано наступне: найкращий результат роботи програми без використання операторів мутації становить $x = 0,299963954180099$ значення фітнес-функції $F(x) = -96,4997166844533$. Точність порівняння з еталонним значенням становить 99,98798%. Середнє значення різниці відхилення отриманої вибірки точок екстремумів становить 0,0002292131. Розсіювання значень результатів складає 0,0000000219402. Це означає, що алгоритм не зачіпає локальний мінімум. Стандартна помилка для вибірки складає 0,0000468404, а стандарте відхилення відповідно 0,000148122. Середня кількість ітерацій складає 833 проходів.[6]

Аналогічно виконано пошук глобального екстремуму з використанням операторів мутації. Найкращий результат роботи програми складає $x = 0,300171750690756$ значення фітнес функції $F(x) = -96,5009936275525$. Середнє значення вибірки результатів складає 0,30126147, а середнє значення різниці відхилення дорівнює 0,00126147. Розсіювання значень результатів складає 0,00000379111, стандартна помилка для вибірки складає 0,00061572, стандарте відхилення відповідно 0,001947076. Середня кількість ітерацій складає 110. Результати експериментів зведені в порівняльні таблиці 1 та 2.

Таблиця 1. Таблиця порівняння результатів роботи програми.

Функція $F(x) = -\left(\frac{1}{(x-0.3)^2+0.01} + \frac{1}{(x-0.9)^2+0.04} + 6\right)$						
№ спроби	Глобальний екстремум: $x = 0,3$ $F(x) = -96,5$					
	Без мутації			З мутацією		
	x	F(x)	Кількість ітерація	x	F(x)	Кількість ітерація
1	0,3003171635	-96,50137445	122	0,3003221989	-96,50138007	73
2	0,3003536942	-96,50140376	55	0,3003425267	-96,50139763	42
3	0,3003178752	-96,50137527	110	0,3003341696	-96,50139141	86
4	0,2999639542	-96,49971668	2906	0,3008685071	-96,49898360	53
5	0,2999731936	-96,49979178	3378	0,3037081129	-96,39072362	109
6	0,3002711783	-96,50129966	417	0,3002774040	-96,50131226	257
7	0,3001626196	-96,50095563	844	0,3059037134	-96,19752271	167
8	0,3003424815	-96,50139760	66	0,3003448140	-96,50139909	50
9	0,3003322966	-96,50138982	82	0,3003414995	-96,50139694	61
10	0,3002576740	-96,50126968	347	0,3001717507	-96,50099369	199

Таблиця 2. Порівняння статистичних характеристик

		Без мутації	З мутацією
Найкращий результат роботи алгоритму	x	0,299963954180099	0,300171750690756
	F(x)	-96,4997166844533	-96,5009936275525
Точність результату		0,000036045819901	-0,00017175069076
		99,98798%	99,94275%
min кількість ітерацій		55	42
max кількість ітерацій		3378	257
∑ кількість ітерацій		8327	1097
Середня кількість ітерацій		833	110
Середнє значення різниці відхилення		0,0002292131	0,00126147
Середнє значення вибірки		0,300229213	0,30126147
Дисперсія		0.0000000219402	0.00000379111
Стандартна помилка		0.0000468404	0,00061572
Стандарте відхилення		0,000148122	0,001947076

2. Також було проведено аналогічне дослідження для функції

$$F(x) = 3\left(x^2 + \frac{5,283144387x - 2,291009347}{-6,779211907} - 11\right)^2 + \left(x + \left(\frac{5,28144387x - 2,291009347}{-6,779211907}\right)^2 - 7\right)^2, \quad -5 \leq x \leq 5$$

Особливість функції полягає в тому, що вона має два однакових глобальних мінімуми, при $x = -3,7778$, $F(x) = 0$ та $x = 3$, $F(x) = 0$. Функція зображена на Рис.2.

Для знаходження екстремумів було виконано 100 випробувань. Найкращий результат для цієї функції без використання мутації становить $x = 2,999949474514$, $F(x) = 0.000000395245$ та $x = -3,779373812$ $F(x) = 0.00000071193602$, а з мутацією відповідно $x = 2,99994947451$, $F(x) = 0.0000003952459$ та $x = -3,77925970772539$ $F(x) = 0.00000042845529$, Середня кількість ітерацій для алгоритму становить 436 та 323 ітерацій відповідно. Слід відмітити, що серед 30 пошуків точок екстремумі, мінімуми були знайдені в відношенні 60/40%. Тобто 17 разів був знайдений мінімум в точці $x = 3$ та 13 разів був знайдений в точці $x = -3,7778$. При збільшенні кількості пошуків, відношення прямує до 50/50. Статистичні дані було обраховано окремо для двох мінімумів без мутації та з мутацією. Аналогічно всі данні були зведені до таблиць 3 та 4.

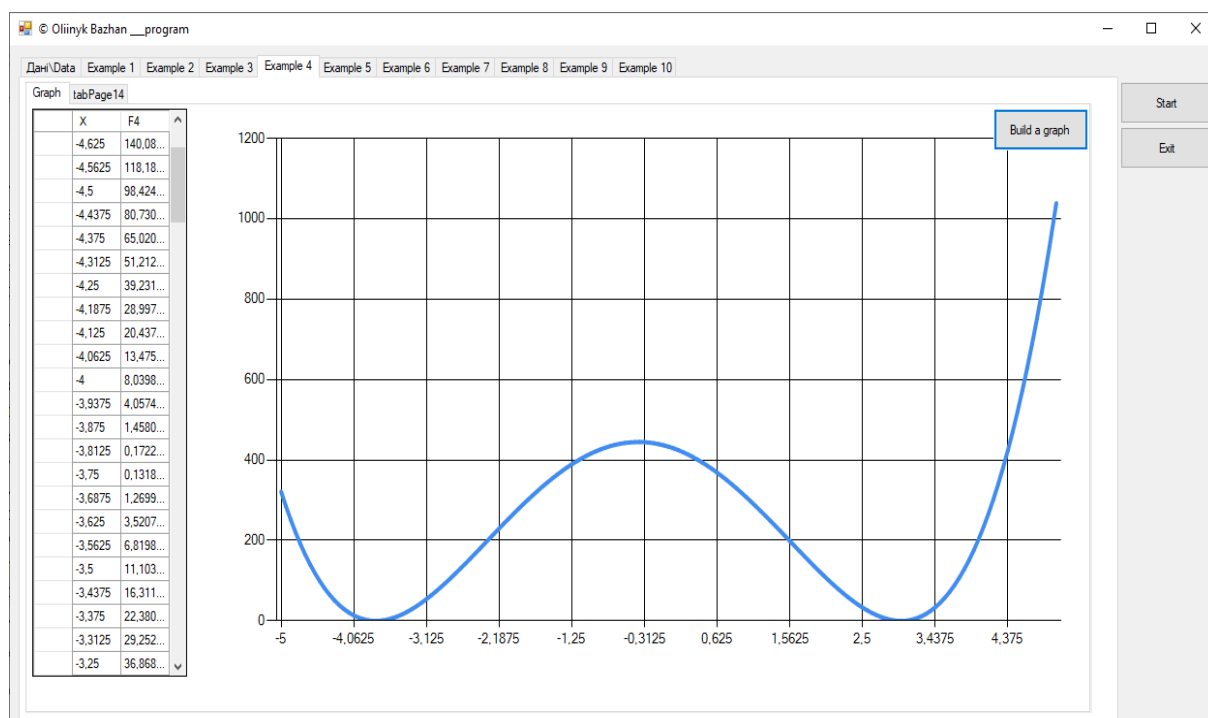


Рис. 2 Функція з двома глобальними мінімумами

Таблиця 3. Таблиця порівняння деяких результатів для другої функції.

Функція						
$F(x, y) = 3 \left(x^2 + \frac{5,283144387x - 2,291009347}{-6,779211907} - 11 \right)^2 + \left(x + \left(\frac{5,28144387x - 2,291009347}{-6,779211907} \right)^2 - 7 \right)^2$						
Глобальний екстремум: $x = -3,7778, F(x) = 0$ та $x = 3, F(x) = 0$						
№ спроби	Без мутації			З мутацією		
	x	F(x)	Кількість ітерація	x	F(x)	Кількість ітерація
3	2,9998101	0,00000558190851	101	2,99981012093	0,00000558190	101
4	2,9999073	0,00000133031413	73	2,99990730493	0,00000133031	73
5	-3,7797006	0,00002384450725	449	-3,77944585399	0,000002967311	235
11	3,00029514	0,0000134887686	344	2,999548714969	0,00003152803	353
12	-3,7777615	0,0003705011867	1987	-3,77945208652	0,000003237971	1364
19	-3,7792295	0,0000010260140	51	-3,77939399451	0,000001181705	51
20	3,00007756	0,0000009315881	73	2,999891266230	0,000001830491	73
24	-3,7793738	0,0000007119360	54	-3,77937381239	0,00000071193	54
25	2,9999494	0,0000003952459	52	2,99994947451	0,000000395245	52
27	-3,7797443	0,0000294442639	532	-3,77937767431	0,000000792069	349
29	3,0013911	0,0002997562037	3906	3,000626757004	0,00006083192	1251

Таблиця 4. Порівняння статистичних характеристик функції

		Без мутації	З мутацією
Найкращий результат роботи алгоритму	x_1	2,999949474514	2,99994947451
	$F(x_1)$	0.000000395245	0.0000003952459
	x_2	-3,779373812	-3,779259707725
	$F(x_2)$	0.00000071193	0.00000042845529
min кількість ітерацій		51	51
max кількість ітерацій		3906	1364
Σ кількість ітерацій		13094	9693
Середня кількість ітерацій		436	323
Середнє значення різниці відхилення	x_1	0,008905888	0,009302444
	x_2	0,000331697112078	0,000242414679210
Середнє значення вибірки	x_1	-3,778951502	-3,779151891
	x_2	3,000287382	3,00024699
Середнє значення функції	$F(x_1)$	0,000055155916	0,000016472
	$F(x_2)$	0,000033113	0,000005429
Стандартна помилка		0,0000956311	0,0000415954
Стандартне відхилення		0,000364482	0,000163003

Порівнюючи ці дані для обох функцій слід відмітити, що кількість ітерацій при використанні операторів мутації може залишатись такою як і без мутації. Це означає, процес пошуку екстремальних точок відбувається достатньо рівномірно. В деяких випадках кількість ітерацій змінюється, а саме зменшуються, наприклад 3906 - ітерацій без мутації, та 1364 - ітерацій з мутацією при однакових початкових даних. Це означає, що для певного класу функцій алгоритм не потребує використання операторів мутації, на відміну від відомої функції Растрігіна ([4]), для якої є велика вірогідність потрапити в локальний екстремум. Для досліджуваної функції область пошуку рівномірно стискається навколо екстремальної точки, що видно на графіку спроб пошуку екстремуму (Рис.3).

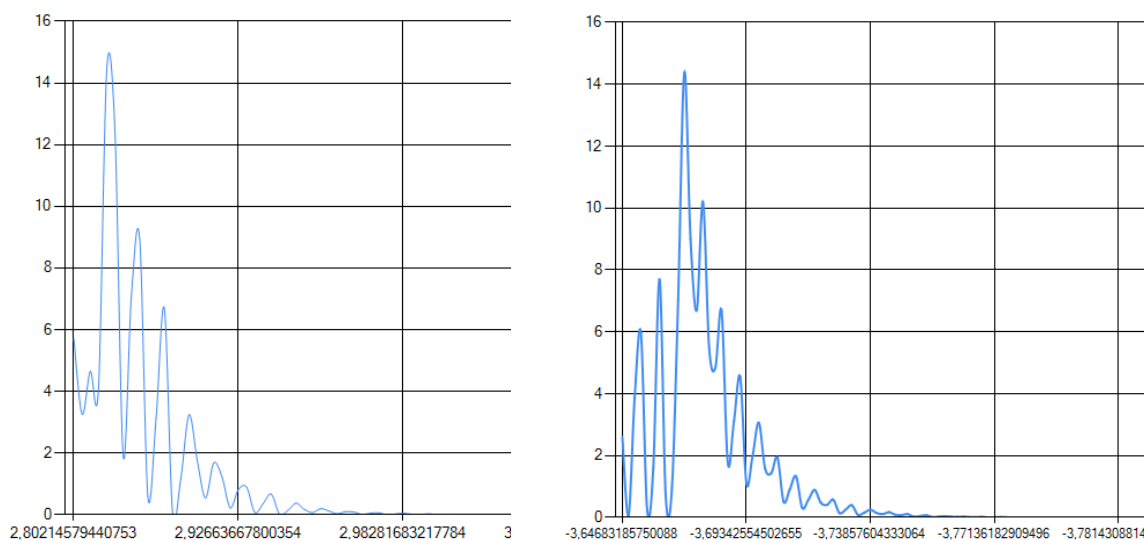


Рис. 3 Графіки пошуку екстремумів

Висновки. Використання операторів мутації, що наведений у даній роботі, дозволяє виконати деякі висновки, що в залежності від виду функції мутація може як прискорити процес знаходження, так не впливати на процес пошуку. Також процедура мутації дозволяє уникнути попадання в хибний екстремум, за рахунок того, що оператор мутації регулярно перевіряє наявність кращих розв'язків на відріжку. Також слід відмітити, що способи мутацій, які розглядалися та аналізувалися дають ефект прискорення роботи алгоритму і з високим рівнем вірогідності забезпечують знаходження глобального екстремуму. Особливості використання

кожної із процедур мутації призводять до гнучкої роботи генетичних алгоритмів. Процедуру мутації можна організувати як комбінацію наведених способів, що також підвищує ефективність алгоритму. Як і було зазначено оператори мутації дають ефект прискорення роботи алгоритму і забезпечують швидше знаходження глобального екстремуму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вороновский Г.К., и др., Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. - Х.: ОСНОВА, 1997.- 112 с. ISBN 5-776-029-8. [Voronovsky G.K., Makhotilo K.V., Petrashev S.N., Sergeev S.A. Genetic algorithms, artificial neural networks and virtual reality problems]
2. Панченко Т. В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. - Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007.- 87с. [Panchenko T.V. Genetic algorithms]
3. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Под ред. В.М. Курейчика. - 2-е изд., исправл. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 368 с. - ISBN 978-5-9221-0510-1. [Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Genetic algorithms]
4. Олійник Л.О., Бажан С.М. Алгоритм пошуку екстремумів функції однієї змінної с.44-50// Математичне моделювання: Науковий журнал. - Кам'янське: ДДТУ.2019.- №1(40). - 210с [Oliyunk L.O., Vazhan S.M., Algorithm for finding the extrema of a function of one variable]
5. Олійник Л.О. Бажан С.М. «Застосування алгебраїчної модифікації генетичного алгоритму в задачах визначення глобального екстремуму функцій однієї змінної» с. 52-53, Матеріали конференції INTERNATIONAL CONFERENCE Mathematical Problems of Technical Mechanics and Applied Mathematics - 2019 [Oliyunk L.O. Vazhan S.M. Application of algebraic modification of genetic algorithm in problems of determining the global extremum of functions of one variable]
6. Олійник Л.О., Бажан С.М. «Про деякі способи рекомбінації у генетичному алгоритмі в процесі пошуку екстремумів функції однієї змінної», 194-195с., Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: Тези доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції МПЗІС-2019, Дніпро, 20-22 листопада 2019р./ Під загальною редакцією О.М. Кісельової – Дніпро: ДНУ, 2019. – 308с.